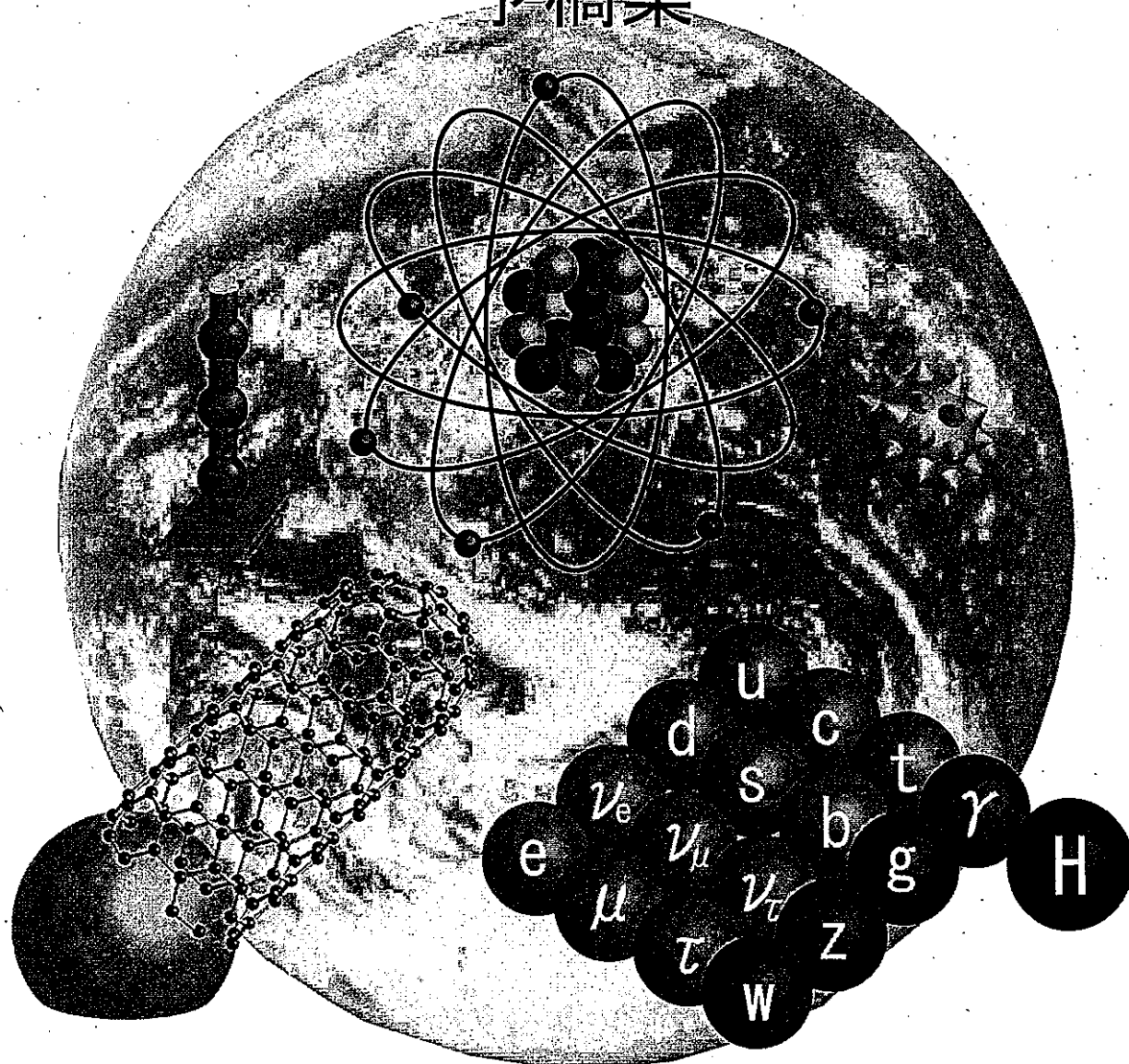


2008 年度
修士論文発表会
予稿集



大阪大学理学研究科
物理学専攻
宇宙地球科学専攻
2009年2月9日・10日



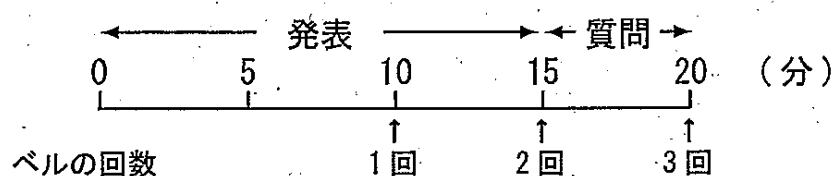
発表についての注意

発表時間

発表 15 分

質疑応答 5 分

タイムキーパーについて



パワーポイントでの発表について

- ・各ブロック（休憩から休憩までの発表者のまとめ）で1つのパソコンに発表ファイルをまとめておいてください。
 - ・プロジェクターのセッティングは発表前の休憩時間に行ってください。
 - ・ブロック内でのパソコンの付け替えは時間の無駄になるので決して行わないでください
-
- ・2/9（月）の朝一番の発表者のタイムキーパーは、2/6（金）に物理学事務室（H408）にレーザーポインタとベルを取りに行ってください。
 - ・2/9（月）最後の発表者のタイムキーパーは、その日の発表の終了後2/10（火）の最初の発表者のタイムキーパーにレーザーポインタとベルを渡してください。
 - ・2/10（火）の最後の発表者のタイムキーパーは、レーザーポインタとベルを最後の発表終了後に物理学事務室（H408）に返却してください。

緊急連絡先

物理学事務室
續木さん (5377)

物理学専攻（竹田研）
清水・高尾・種本・野上 (5752)

宇宙地球科学専攻（中嶋研）
常盤井・中島・長谷川 (5499)

素粒子・原子核グループ H701
2月9日(月)

座長	開始時間	学生氏名	指導教員	ページ	進学	主査	副査	副査	副査	副査	タイムキーパー
岸本	9:30	倉 健一郎	下田 正	2		小田原	下田	浅川	民井		壽賀正城
	9:50	田尻 邦彦	下田 正	2	○	下田	久野	岡村	土岐	小田原	壽賀正城
	10:10	森尾 豊	磯山 悟朗	3	○	磯山	久野	加藤			寺沢賢和
		休憩									
磯山	10:40	江口 陽介	久野 良孝	3		久野	山中卓	中野	青木		伊藤尚祐
	11:00	中西 祥人	久野 良孝	4		久野	岸本	下田	青木		伊藤尚祐
	11:20	金丸 真也	能町 正治	4		能町	岸本	福田光宏			河野陽介
	11:40	持山 智浩	疇地 宏	5		疇地	山中卓	常深	白神		細田裕計
		休憩									
松多	13:00	森崎 知治	與曾井 優	5		與曾井	中野	味村			廣田
	13:20	河股 秀典	畑中 吉治	6		畑中	岡村	福田光宏			中川仁太
	13:40	石川 大貴	岡村 弘之	6		岡村	下田	民井			廣田
		休憩									
下田	14:10	吉元 寛貴	山中 卓	7		山中卓	青木	花垣			高木崇志
	14:30	LEE JONG-WON	山中 卓	7	○	山中卓	中野	花垣			高木崇志
	14:50	石川 迪雄	花垣 和則	8	○	山中卓	青木	花垣	中嶋	近藤	高木崇志
	15:10	廣瀬 穰	花垣 和則	8	○	山中卓	能町	花垣			高木崇志
	15:30	目黒 立真		9	(外部)	山中卓	久野	窪田	能町	花垣	高木崇志

(敬称略)

素粒子・原子核グループ H701
2月10日(火)

座長	開始時間	学生氏名	指導教員	ページ	進学	主査	副査	副査	副査	副査	タイムキーパー
若松	9:30	仲井 孝行	東島 清	9		東島	高杉	細谷			高橋悠
	9:50	椎田 順大	窪田 高弘	10		窪田	東島	細谷			高橋悠
	10:10	加納 雄嗣	高杉 英一	10		高杉	窪田	東島			高橋悠
	10:30	小林 由和	細谷 裕	11		細谷	窪田	波場			高橋悠
		休憩									
山中卓	11:00	遠藤 雅明	岸本 忠史	11		阪口	岸本	福田光宏			吉田幸太郎
	11:20	松田 健翔	岸本 忠史	12		阪口	岸本	青木			吉田幸太郎
	11:40	和田 真理子	岸本 忠史	12		岸本	能町	阪口			吉田幸太郎
		休憩									
細谷	13:00	河野 泰宏	浅川 正之	13	○	浅川	小川	佐藤透			多小谷享
	13:20	山中 長閑	浅川 正之	13	○	浅川	窪田	佐藤透			多小谷享
	13:40	古川 篤史	保坂 淳	14		保坂	土岐	浅川			金子寛弥
		休憩									
浅川	14:10	上地 舜		14	(外部)	土岐	保坂	岡村	能町	若松	森祐揮
	14:30	柳 輝英		15	(外部)	土岐	保坂	中野	野海	佐藤透	森祐揮
	14:50	柳 善永		15	(外部)	中野	久野	野海	保坂	與曾井	森祐揮

16:00 判定会議(全員出席:H701)

(敬称略)

物性グループ F102
2月9日(月)

座長	開始時間	学生氏名	指導教員	ページ	進学	主査	副査	副査	副査	副査	タイムキーパー
朝日	8:50	小林 順一	田島 節子	17		田島	大貫	宮坂			鈴木真之佑
	9:10	松岡 哲平	田島 節子	17		田島	木下	宮坂			鈴木真之佑
	9:30	三笠 雄司	田島 節子	18		田島	萩原	宮坂			鈴木真之佑
	9:50	山本 将史	田島 節子	18		田島	野末	宮坂			鈴木真之佑
		休憩									
石原	10:20	亀岡 恒志	朝日 一	19		朝日	野末	長谷川			山野彰生
	10:40	田中 裕輔	朝日 一	19		朝日	井上	長谷川			山野彰生
	11:00	徳田 克彦	朝日 一	20		朝日	野末	長谷川			山野彰生
	11:20	本多 裕也	朝日 一	20		朝日	竹田	長谷川			山野彰生
	11:40	池田 泰大	斎藤 直	21		斎藤	大貫	野末			森祐揮
		休憩									
野末	13:00	清水 拓真	竹田 精治	21		竹田	大貫	河野			森祐揮
	13:20	高尾 修平	竹田 精治	22		竹田	阿久津	河野			森祐揮
	13:40	種本 裕介	竹田 精治	22		竹田	大貫	河野			森祐揮
	14:00	野上 隆文	竹田 精治	23		竹田	朝日	河野			森祐揮
		休憩									
赤井	14:30	大浦 健志	菊池 誠	23		時田	菊池	阿久津			辻田賢
	14:50	中田 喜之	小川 哲生	24		小川	菊池	浅野			山下麗人
	15:10	山下 和男	小川 哲生	24	○	小川	阿久津	浅野			山下麗人
		休憩									
竹田	15:40	藤井 将	森川 良忠	25		森川	赤井	野末			森祐揮
	16:00	大脇 章弘	野末 泰夫	25		野末	大貫	萩原			田中邦明
	16:20	松野 泰英	野末 泰夫	26		野末	撰待	鷹岡			田中邦明
	16:40	水金 貴裕	野末 泰夫	26		野末	田島	杉山			田中邦明
	17:00	山崎 祐	野末 泰夫	27		野末	豊田	宮坂			田中邦明

(敬称略)

物性グループ F102
2月10日(火)

座長	開始時間	学生氏名	指導教員	ページ	進学	主査	副査	副査	副査	副査	タイムキーパー
大貫	8:50	香月 恒介	石原 盛男	27		石原	野末	藤田佳孝			岸原範明
	9:10	川村 和哉	豊田 岐聡	28		豊田	野末	石原			岸原範明
	9:30	久保 歩	豊田 岐聡	28		豊田	木下	久富			岸原範明
休憩											
阿久津	10:00	岩崎 将	赤井 久純	29	○	赤井	田島	スレヴィン	森川		坂東将光
	10:20	斎藤 涼介	赤井 久純	29	○	赤井	野末	浅野	スレヴィン		坂東将光
	10:40	永田 徹哉	赤井 久純	30	○	赤井	菊池	浅野	スレヴィン		坂東将光
	11:00	原嶋 庸介	赤井 久純	30	○	赤井	小川	浅野	スレヴィン		坂東将光
	11:20	増山 綾香	赤井 久純	31		赤井	大貫	浅野	スレヴィン		坂東将光
休憩											
田島	12:40	大伴 紗世	萩原 政幸	31		萩原	大貫	宮坂			二宮謙太
	13:00	松永 崇弘	萩原 政幸	32	○	萩原	野末	撰待			二宮謙太
	13:20	石倉 達朗	大貫 惇睦	32		大貫	竹田	撰待			片山敬亮
	13:40	太田 有基	大貫 惇睦	33		大貫	萩原	杉山			片山敬亮
休憩											
齊藤	14:10	土井 裕介	大貫 惇睦	33		大貫	田島	杉山			片山敬亮
	14:30	中野 泰典	大貫 惇睦	34		大貫	野末	撰待			片山敬亮
	14:50	村中 太志	大貫 惇睦	34		大貫	田島	撰待			片山敬亮
	15:10	玉谷 知裕		35	(外部)	小川	阿久津	川村	菊池	浅野	山下麗人

16:00 判定会議(全員出席:H701)

(敬称略)

宇宙地球科学グループ F202
2月9日(月)

座長	開始時間	学生氏名	指導教員	ページ	進学	主査	副査	副査	副査	副査	タイムキーパー
松田	9:00	常盤井 和代	中嶋 悟	37		中嶋	廣田	廣野			濱田洋平
	9:20	中島 崇	中嶋 悟	37		中嶋	近藤	廣野			濱田洋平
	9:40	長谷川 浩二	久富 修	38		久富	土'山	中嶋			濱田洋平
	10:00	Nguyen Trung Hai	川村 光	38	○	川村	廣田	谷口			濱田洋平
		休憩									
芝井	10:30	森本 祥司	川村 光	39		川村	廣野	湯川			奥村宗一郎
	10:50	山本 敦志	川村 光	39	○	川村	菊池	萩原	湯川		奥村宗一郎
	11:10	原野 和也	川村 光	40		川村	阿久津	湯川			奥村宗一郎
		休憩									
中嶋	13:00	加納 俊	松田 准一	40		植田	松田	萩原			種盛真也
	13:20	佐部 友希恵	松田 准一	41		松田	土'山	山中千			種盛真也
	13:40	白石 智一	松田 准一	41		松田	土'山	植田			種盛真也
		休憩									
土'山	14:10	古布 諭	高原 文郎	42		高原	藤田裕	林田			山口正輝
	14:30	菅原 功	高原 文郎	42		高原	芝井	藤田裕			山口正輝
	14:50	田中 周太	高原 文郎	43	○	高原	藤田裕	常深			山口正輝
	15:10	吉田 訓士	高原 文郎	43	○	高原	高部	藤田裕			山口正輝

(敬称略)

宇宙地球科学グループ F202
2月10日(火)

座長	開始時間	学生氏名	指導教員	ページ	進学	主査	副査	副査	副査	副査	タイムキーパー
廣田	9:00	飯田 洋祐	土'山 明	44		土'山	佐伯	湯川			岡真由美
	9:20	幾世 宏志	土'山 明	44		佐伯	土'山	廣野			岡真由美
	9:40	今井 悠太	土'山 明	45	○	土'山	芝井	大高			岡真由美
		休憩									
川村	10:10	川邊 聖司	土'山 明	45		佐伯	土'山	林田			長澤健一
	10:30	野口 遼	土'山 明	46	○	土'山	松田	佐伯			長澤健一
	10:50	増尾 悦子	土'山 明	46		土'山	中嶋	大高			長澤健一
	11:10	水野 準一	土'山 明	47		土'山	松田	佐伯			長澤健一
		休憩									
高原	13:00	太田 征宏	常深 博	47		林田	常深	佐伯			阪口 壘
	13:20	木村 公	常深 博	48	○	常深	芝井	林田			阪口 壘
	13:40	文原 篤史	常深 博	48		常深	中嶋	林田			阪口 壘
		休憩									
常深	14:10	古家 景悟		49	(外部)	中嶋	近藤	廣田	谷口	久富	伊藤優佑
	14:30	幸山 常仁		49	(外部)	芝井	高原	土'山	林田	藤田裕	伊藤優佑

16:00 判定会議(全員出席:H701)

(敬称略)



素粒子・原子核グループ

会場 H701

2月9日

スピン偏極した ^{28}Na の β 崩壊測定による ^{28}Mg の核構造の研究

倉健一朗 下田研究室 (物理学専攻)

有限量子多体系である原子核の構造を理解する描像の1つに、核子が平均場で特徴付けられる単一粒子軌道を各々独立に運動しているという、殻模型 (shell model) がある。これは、魔法数近傍の安定領域の原子核の構造を良く説明している。しかし、最近の加速器技術の発展に伴い、中性子数や陽子数の組み合わせが安定核とは大きく異なった不安定核が生成され、これまでの殻模型では説明できない現象や性質が報告されている。特に、魔法数 20 を中性子数に持つ ^{31}Na の周辺の原子核は大きく変形し、 $N=20$ の魔法数が消失している可能性が示唆されている。これは、本来上位に位置するはずの軌道が下がって軌道の逆転が起こるためと考えられている。このメカニズムの解明には、これらの原子核の基底状態や励起状態の詳細情報が不可欠であるが、この領域ではほとんどの励起準位のスピン・パリティすらわかっていない原子核が多く、準位構造の実験的解明が 10 年来の懸案となっている。

そこで、スピン偏極した不安定核の β 崩壊とそれに伴う γ 崩壊を同時計測することで、娘核の基底状態や励起状態のスピン・パリティを決定するという、独自の方法を用いて、この領域の原子核構造を解明する系統的研究を開始した。本研究では、TRIUMFにおいて、500 MeVの陽子ビーム、Taターゲットに照射して ^{28}Na (半減期 30.5ms) を生成し、レーザーを用いたオプティカルポンピングで偏極させた。偏極した ^{28}Na からの β 線の非対称度、および β 遅延 γ 線を測定し、娘核である ^{28}Mg の5つの励起状態のスピン・パリティの決定に成功した。このうちスピン・パリティを 2^+ と同定した 7.461 MeV の励起状態は、この実験で初めて発見されたものである。残り4つの励起状態のスピン・パリティに関しては、他の実験で報告されているものと一致した。以上から本研究の実験方法の有効性を確認した。また、以前には観測されていない ^{28}Mg の γ 線を確認し、 ^{28}Mg の準位構造を大幅に改定することに成功した。さらに大規模な殻模型計算コードである OXBASH、NuShell を用いて計算を行い、実験結果との比較によって、この領域で最適な有効相互作用を提案し、 ^{28}Mg の核構造の議論を行った。

スピン偏極した ^{29}Na の β 崩壊の測定による ^{29}Mg の構造の研究

田尻邦彦 下田研究室 (物理学専攻)

原子核を理解する方法の一つとして殻模型 (shell model) がある。殻模型によると、原子核における魔法数を説明でき、原子核の数々の性質をうまく予言できる。共同研究者である倉健一朗氏のアブストにもあるように、 ^{31}Na 周辺の原子核は安定核であれば sd 軌道よりも上にある pf 軌道が下に下りてきて準位が入れ替わることから、Island of Inversion と呼ばれており、魔法数 20 の消失や原子核の基底状態における変形などが起きているとされる。我々はその領域周辺の原子核の中でも、Mg 同位体に注目して研究を行っている。Mg 同位体の場合、 ^{31}Mg 、 ^{32}Mg 、 ^{33}Mg が Island of Inversion に含まれており、 ^{29}Mg 、 ^{30}Mg はその外側にあるとされている。質量数が 29 よりも重い同位体の多くでは、スピン・パリティが基底状態でしか報告されておらず、励起状態では実験的には確定されていない。それを決めることで、準位のエネルギーやスピン・パリティで特徴付けられる核構造を明らかにし、Island of Inversion の外側にあると言われている原子核において、軌道の入れ替わりの影響があるのかどうか調べることができる。我々はスピン偏極させた ^{29}Na からの β 崩壊の非対称度を測定する手法を用いることで、娘核である ^{29}Mg の励起状態のスピン・パリティを決定しようとした。この手法は、角運動量移行や γ 線の角度相関の実験によりスピン・パリティを決めるという一般的な手法よりも感度が高いという利点がある。

実験はカナダの TRIUMF の ISAC-1 において行った。 ^{29}Na の β 崩壊において、娘核である ^{29}Mg の 3.224 MeV から、未発見であった 1.431 MeV を経由して 1.095 MeV に崩壊する、1793 keV および 336 keV という新たな γ 線を観測した。また、基底状態からわずか 0.055 MeV 上にあるため、確認が困難であった第一励起状態 $\rightarrow\beta$ 崩壊も初めて確認することができた。スピン・パリティの同定に関しては、 β 崩壊の強度が大きい 3.224 MeV および 2.615 MeV のスピン・パリティをそれぞれ $3/2^+$ 、 $1/2^+$ と同定した。また、次に崩壊の強度が強い 3.227 MeV については、許容遷移の場合 3 通り考えられるスピン・パリティを $3/2^+$ か $5/2^+$ のどちらかに絞ることができた。その後、殻模型の計算コードである Oxbash および NuShell を用いた計算を行った。その計算結果を得られた実験結果と比較し、核構造の議論を行った。

Lバンド電子ライナックの加速用パルス RF の速い位相・振幅制御と

それによる電子ビームの高輝度化

森尾豊 磯山研究室 (物理学専攻)

我々はLバンド電子ライナックを用いて遠赤外領域のFEL(自由電子レーザー)の開発研究を行っている。これまでに波長30~150 μm でのレーザー発振に成功しているが、Lバンドライナックで加する電子ビームのマクロパルスが約2 μs と短かく、光の増幅回数が少ないためにFELパワーの飽和を実現するには至っていないかった。

そこで、RFパルスの時間幅を通常運転に使用する4 μs に加えて、8 μs のパルス幅を持つFEL用の運転モードを利用できるようにLバンドライナックに大規模な改修を加えた。このロングパルスモードで運転した場合、加速管のフィリングタイム2 μs を差し引いた6 μs のマクロパルスを電子の加速に供することができる。ところが、FEL実験に使用するロングパルスモード時のクライストロン電圧ではすでに0.1%程度の平坦度を実現しているが、実際に出力されるRFパルス平坦部での振幅変化は10%程度、位相変化は5度以上が確認されエネルギーの揃ったビームを得られなかった。

本研究ではまず、電子ビームのエネルギーを揃えるため、ローレベルでの高周波電力の位相・振幅変調を行い、フィードフォワードにクライストロンの出力するRFパルス波形を制御する。振幅と位相が補正され、加速管に入力されるRFパルスの波形では~8 μs の幅で振幅変化は1%以下、位相変化も1度以下まで補正できる性能を得た。この補正されたRFパルスを用いマルチバンチビームを加速し、FELの発振を確認することができた。次に、短い電子パルス(5ns、過渡モードビーム)を用いて、RFパルスに対する電子パルスの入射タイミングを変化させながらエネルギースペクトル測定を行った。得られた結果より位相・振幅変化を評価する。

ミュオン電子転換過程探索のためのカロリメータ開発

江口陽介 久野研究室 (物理学専攻)

我々は、大阪大学のグループを中心として、ミュオン電子転換過程探索実験COMET及びPRISM/PRIMEを計画している。これら探索実験では、発生する電子の運動量を精密に測定する必要があり、測定器としてストロー飛跡検出器と、電磁カロリメータの設置を検討している。

電磁カロリメータの主な役割は、イベントトリガーの作成と、電子の運動エネルギーの測定によって飛跡検出器での電子の運動量測定の保証を行う事である。電磁カロリメータへの要請として、高いエネルギー分解能と速い減衰時間、真空かつ強磁場での動作保証、更に強い放射線耐性を持つことが挙げられる。

今年度は、カロリメータに用いる無機シンチレータ結晶候補の一つであるZr添加GSO(Ce)結晶に関してガンマ線による放射線耐性試験を行い、放射線損傷と、損傷の時間回復定数を評価した。

真空かつ強磁場中で動作する光検出器に関して、アパランシェ・フォトダイオード(APD)及びマルチピクセル・フォトンカウンター(MPPC)の研究を行っており、広島大学における150MeV電子ビームテストにおいて動作を確認し、無機シンチレータ結晶を用いて光量測定を行った。同時に集光ライトガイドによる収集光量の変化を確認した。

シミュレーションコードGEANT4によるCOMET及びPRISM/PRIMEに用いるカロリメータの性能評価シミュレーションを行った。セグメントの大きさや検出器の大きさ、シンチレータの材質等をパラメータとして変更し、各々で期待される分解能を評価することができた。

ミューオン・電子転換過程探索実験のための

PRISM-FFAG リングの開発

中西祥人 久野研究室 (物理学専攻)

PRISM はミューオン・電子転換過程の探索のための大強度・高輝度・高純度ミューオン源であり、この過程を 10^{-18} の感度で測定することを目指している。PRISM の最大の特徴は、ミューオンビームの高輝度化に FFAG(Fixed Field Alternating Gradient)リングによる位相空間回転を用いることである。位相空間回転によって、時間の広がりエネルギーの広がりを転換し、結果的にエネルギーの揃ったミューオンビームを生成する。本研究では、この位相空間回転の実証のために建設した FFAG リングについて研究を行った。今回建設した FFAG リングは 6 台の FFAG 電磁石と 1 台の高周波加速空洞から構成されている。この FFAG リングの性能評価として、リングを周回する α 線の軌道について研究を行った。まずは α 線の水平方向の位置を測定するために α 線位置検出器を開発し、実際にリングに組み込んで α 線の位置検出に成功した。次に α 線軌道の研究として、FFAG リング 1 周における閉軌道とベータatron振動のチューンの測定を行った。さらに α 線を高周波加速空洞に通過させて α 線のエネルギー変化を測定する実験を行い、高周波電場に同期したエネルギー変化を確認した。

BiPo2プロタイプ検出器の性能評価

金丸真也 能町研究室 (物理学専攻)

ニュートリノを伴わないダブルベータ崩壊測定は半減期が 10^{26} 年以上と考えられる稀崩壊である。この崩壊の測定を目標とした SuperNEMO 計画では、低バックグラウンド環境下の測定が重要である。そのため、SuperNEMO で使用するダブルベータ崩壊試料フォイルは高純度である必要がある。そのためには、フォイル中のバックグラウンドとなりうる放射性物質を高感度で測定する必要がある。広がって分布する微量の放射性物質の測定はゲルマニウム検出器などで行う事は困難である。現在、深刻なバックグラウンドになると考えられているのは、試料フォイル中に含まれる天然放射性壊変系列のウラン系列に属する ^{214}Bi が放出する Q 値 3.27MeV のベータ線とトリウム系列に属する ^{208}Tl が放出するガンマ線 (2.6MeV など) である。これらのバックグラウンド量は、ウラン系列、トリウム系列ともに、Bi が崩壊してベータ線を出し Po になり、その後比較的短い半減期で Po が崩壊してアルファ線を出し Pb になるという連続崩壊から、測定することができる。この BiPo2 連続崩壊を検出する装置を開発している。今回開発された BiPo2 プロタイプ検出器は大面積を覆うための大型プラスチックシンチレータ 2 枚と比較的少ない光電子増倍管からなる構造が特長である。本研究では、BiPo2 プロタイプ検出器を開発し、フランスの Modane 地下実験施設で性能試験を行った。その結果について報告する。

高速点火核融合実験における全反射ミラーを用いた X 線画像計測

持山智浩 嚙地研究室 (物理学専攻)

レーザー核融合における新しい点火方式である高速点火方式は、爆縮により高密度圧縮された燃料プラズマに超強度レーザーを照射してこれを加熱し、核融合点火を目指すものである。現在、レーザー研では5keVまでの加熱をめざし10kJ/10psの加熱用超強度レーザー-Laser for Fusion EXperiment(LFEX)を調整中であり、間もなく実験を開始する予定である。

高速点火核融合実験においては、超短パルス超強度の加熱レーザーの入射により発生する強烈な硬X線がノイズとなり、プラズマ計測を妨げる。この問題を解決するため、X線フレーミングカメラを用いた画像計測に全反射ミラーを組み合わせる手法を新たに考案した。全反射とはその光子のエネルギーで決まる臨界角(critical angle)より浅い視射角で入射させると高い反射率を得る事ができる現象の事で、この臨界角は光子のエネルギーが高いほど小さくなる。そのため、ある視射角 θ で入射したスペクトルを持つX線はこの視射角 θ より大きい臨界角を持つ低エネルギー成分だけが反射する。このとき、直入射の高エネルギーX線を鉛で遮蔽することで、ミラーで反射した低エネルギーX線のみを計測することが可能となる。

本論文ではこの手法を用いた計測装置の設計開発と、これを用いた原理実証実験について報告する。

LEPS 実験のための偏極 HD 標的開発と

NMR による偏極度測定

森崎知治 核物理研究センター LEPS グループ (物理学専攻)

我々LEPSグループでは兵庫県西播磨にある大型放射光施設Spring-8にて、高エネルギーの逆コンプトン γ 線をビームにした光子-核子衝突実験、特に ϕ 粒子光生成実験を行っている。

近年の高エネルギー実験や理論計算において従来(uud)や(udd)の3クォークモデルで記述されていた陽子や中性子に別なストレンジクォークが含まれているかもしれないという結果が出されている。一方でそれを否定する意見も多く見られ、これらの問題について現在議論が活発に行われている。またLEPSでは従来の ϕ 光生成過程と別過程の存在も浮き彫りになってきた。しかしこれらについて決定付ける実験結果が無いことから理論の域を出ていない。我々はビームと標的をそれぞれスピン偏極させて衝突させ、スピンの向きの組み合わせによる非対称度を測定するという方法で新しい実験事実を提示すべく、重水素化水素(HD)を素材にした偏極HD標的の開発に取り掛かっている。

HDは偏極標的として非常に有益な特徴を持っていて、陽子標的としても中性子標的としても使用できる上に実験中に偏極の方向を変えることも可能である。反面その取扱いは容易ではなく偏極HD標的の開発は温度10mK、磁場17Tという環境が安定的に約2カ月も必要でその後も温度や磁場に大きく依存して状態を変化させる。

今回、数々の技術的困難を乗り越えて試作としての第1号標的の作製によりやくこぎつけることが出来た。偏極標的の命とも言うべき偏極度と、その偏極を保持できる寿命(緩和時間)とを核磁気共鳴(NMR)の手法を用いて初めて測定し、標的が標的として妥当かどうかの性能評価を行った。

永久磁石型 2.45GHz ECR 陽子源の開発

河股秀典 核物理研究センター加速器部門 (物理学専攻)

RCNP サイクロトロン施設では陽子ビームの強度増強を目指した開発を進めている。その一環として、陽子比の高い大強度の陽子ビームを生成し、かつ安定性の高いイオン源を得るために、永久磁石を用いた 2.45GHz ECR イオン源の開発に着手した。

陽子ビーム生成を行なう永久磁石を用いた 2.45GHz ECR イオン源については既に CEA/Saclay で開発が行なわれている。しかし、ソレノイドコイルを用いたものよりも引き出されたビームの強度が 30% 程度低い。その原因として、磁場分布が最適化されていないこと、引出電極部分の磁場の大きさが高く電極間に放電が起こりやすい結果となっていることが考えられる。この原因を解決し、強度および質の高い陽子ビームを生成する永久磁石型 2.45GHz ECR イオン源を開発することを目的とした。

プラズマを発生させるために電子サイクロトロン共鳴条件を満たす磁場分布の設計を行なった。TOSCA/OPERA-3D を使い、電子サイクロトロン共鳴条件を満たし、かつ引出電極設置部分における磁場を低く抑えた分布を持つ永久磁石と鉄材の形状・大きさ・配置について検討を行なった。引出電極の配置等については IGUN を用いたビームシミュレーション計算により、ビーム強度がより大きく得られビームエミッタンスが最小となるように決定した。

これらの設計を基に永久磁石型 2.45GHz ECR 陽子源を製作し、ビーム生成試験を行なった。

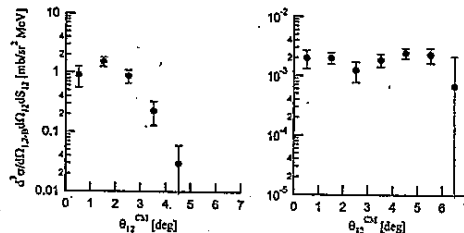
発表では、永久磁石型 2.45GHz ECR 陽子源の製作背景と考察、製作過程・結論、ビーム生成試験の結果を述べる。

$^{12}\text{C}(d,^2\text{He})^{12}\text{B}$ 逆運動学反応による $B(\text{GT}^+)$ の測定可能性の検証

石川大貴 核物理研究センター 核理学 1A グループ (物理学専攻)

天体内の元素合成や β 崩壊などの研究において、不安定核のガモフ・テラー遷移強度を知ることは重要である。 β 崩壊におけるガモフ・テラー遷移強度 $B(\text{GT}^+)$ は、可能ならば β を直接測定し、 Q 値の問題などで直接測定できない場合は (n,p) 、 $(d,^2\text{He})$ などの反応を通して得られる。 (n,p) や $(d,^2\text{He})$ という反応を通して不安定核の $B(\text{GT}^+)$ を測定するためには測定する核を二次ビームとして用いる必要がある。しかし、 n は二次的に生成する必要があるため、統計量の点から測定ができるのは $(d,^2\text{He})$ 反応を通してのみである。この逆運動学反応による測定例はこれまでになく、また ^2He 系の相対エネルギーが小さい領域での測定が困難と予想される。そこで今回の研究では、まず安定核である ^{12}C で $(d,^2\text{He})$ 逆運動学反応を測定し、この測定法が可能かを検証することとした。

実験は大阪大学核物理研究センターの二次ビームコースで 100 MeV/u、 ^{12}C ビームを用い行なった。反応により散乱された ^2He を半導体検出器で測定し、それらの散乱角、エネルギーから ^{12}B の励起エネルギー E_x や散乱角 θ_{CM}^{CM} 、 ^2He 系の相対エネルギー ε_{12} を導出した。 ^{12}B の基底状態と $E_x = 4.5 \text{ MeV}$ の 2 つの状態における微分断面積の角度分布を ε_{12} ごとに求め、断熱型チャンネル結合ボルン近似による理論計算と比較を行なった。比較の結果から今回の実験で逆運動学反応による測定がどの程度よく行なえたかの検証と、今後へ向けての改善点などについて発表する。



^{12}B 基底状態での角度分布
(左) $\varepsilon_{12} = 2 - 4 \text{ MeV}$ (右) $\varepsilon_{12} = 4 - 6 \text{ MeV}$

J-PARC KOTO 実験で用いる CsI 結晶の uniformity 測定

吉元寛貴 山中卓研究室 (物理学専攻)

KOTO 実験とは 2011 年 J-PARC で開始予定の $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ の分岐比測定実験である。これにより標準理論の検証を目的としている。

この実験は以前 KEK で行われた E391a 実験の測定器を改良して行われる。改良の一つとして CsI 電磁カロリメータの CsI 結晶を Fermi Lab で行われた KTeV 実験のものに置き換える。E391a 実験の CsI 結晶が $7 \times 7 \times 30$ (cm) に対して KTeV 実験の結晶は $5 \times 5 \times 50$ (cm)、 $2.5 \times 2.5 \times 50$ (cm) である。

結晶が長くなる事でシャワーの漏れが少なくなり、また結晶のブロックが細かくなることで位置分解能が向上し、2つの ν が重なって1つの ν に見えてしまうフュージョン事象等のバックグラウンドが減少する。

本研究はこの KTeV CsI 結晶の性能評価である。評価すべき性能として、光量とその一様性 (uniformity) がある。光量の一様性とは PMT まで届く光量が発光位置によらない事である。KTeV CsI はこの非一様性が 5% 以内に調整されていた。懸念される問題として KTeV 実験中の radiation dose があり、これが光量、uniformity に影響しているかを調べる必要がある。また約 2700 本という大量の結晶を効率よくテストする必要がある、その測定方法と結果、radiation dose の影響について述べる。

J-PARC E14 実験(KOTO 実験)の CsI 電磁カロリメータ

PMT の Calibration System

Lee Jong-won 山中研究室 (物理学専攻)

J-PARC で行われる E14 実験は K 中間子の希崩壊モード $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ の観測を目指している。この崩壊モードの崩壊比は理論的不定性が小さく、CP-Violation を起こす CKM 行列の虚数成分 η の自乗に比例する値を持つ。弱い力の媒介によるループによる崩壊であり、崩壊率の標準模型での理論的予想値が 2.49×10^{-11} と極めて小さい。そのため、ループの存在による新しい物理(SUSY など)の影響が顕著に見える崩壊モードでもある。現在、この崩壊モードはまだ観測された事がなく、E14 実験のパイロット実験である E391a 実験の結果による崩壊比の上限値 6.7×10^{-8} (90% C.L.) が得られているだけである。

E14 実験の検出器は E391a の検出器を改良して使う予定である。検出器は 2700 本の CsI 電磁カロリメータと VETO 専用のいくつかの検出器で構成される。「CsI 電磁カロリメータに π^0 の崩壊から発生する 2 つの ν が入射し、それ以外の検出器には何も検出されていない」事象をシグナルの条件としている。その後、エネルギー、角度、ビーム軸に垂直な運動量などの制限をかけて $K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ の事象とバックグラウンドを判別する。

$K_L \rightarrow \pi^0 \nu \nu$ の崩壊事象の検出、判別に CsI 電磁カロリメータを用いる。従って、実験に使われる全測定領域(2MeV~2GeV)で電磁カロリメータの性能を正確に測るのが重要である。そのためにカロリメータに使われる PMT のノンリニアリティを正確に測定しておく必要がある。そのために、よいリニアリティを持つ ADC と PIN ダイオードを使った光量モニタと、レーザと軸対称の光分散システムを使った光分配機構を組み合わせ、ノンリニアリティを $\sim 0.2\%$ の精度で測るシステムを構築した。このシステムについて話す。

シミュレーションによる ATLAS 実験における

第三世代超対称性粒子の解析

石川迪雄 山中研究室 (物理学専攻)

欧州原子核研究機構 (CERN) に建設された大型陽子陽子衝突型加速器 (LHC) を用いた ATLAS 実験では、超対称性粒子の発見など標準理論を超える新たな物理の解明が期待されている。本研究では、シミュレーションによって超対称性理論のモデルやパラメータに制限を与える方法について研究した。

超対称性理論が予言する崩壊の有無の確認は超対称性粒子の発見に役立つ。超対称性理論には複数のモデルがあり、超対称性粒子の質量がモデルやパラメータによって異なる。特定のモデルで、第三世代超対称性粒子の質量が軽くなる特徴がある。そのため、第三世代超対称性粒子を崩壊過程に含む事象を研究することで、超対称性理論のモデルやパラメータの絞り込みが可能となる。

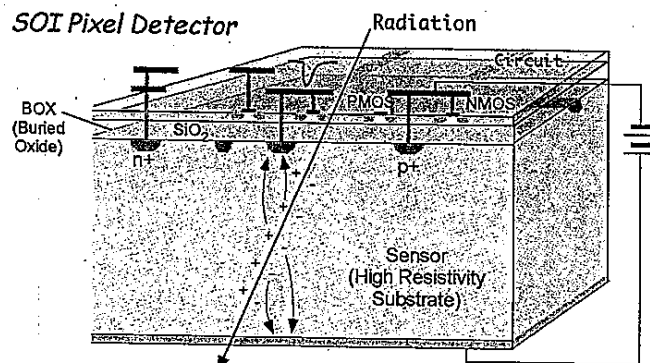
超対称性粒子 *gluino* が第三世代超対称性粒子を経由して、終状態に 2 つの *b* quark 起源のジェット、2 つの *light quark* 起源のジェットとなる事象を解析し、不変質量分布を作った。この分布には第三世代超対称性粒子の質量に対応するエッジが現れるので、エッジの探索により着目する崩壊過程の探索を行える。そこで、シミュレーションにより探査感度、特に超対称性理論のパラメーターなどに対する感度を調べた。

SOI 技術を用いた一体型 Pixel 検出器用 読み出しシステムの開発、及び性能評価

廣瀬穰 山中卓研究室 (物理学専攻)

本研究の目的は、SOI (Silicon-On-Insulator) 技術を用いた一体型の Pixel 検出器 (以下 SOIPIX と呼ぶ) の読み出しシステムを開発し、SOIPIX の性能を評価することである。SOIPIX の大きな特徴は、既存のピクセル検出器と違いセンサーとアンプ等の読み出し回路が一つのシリコンウェハーにまとまっていることである (下図参照)。一体型とする利点としては、不要な物質質量を減らすことが出来、位置分解能の向上が期待出来ることである。また、浮遊容量が減少することにより、動作速度の向上、高い S/N 比の獲得などといった利点が生まれることも重要な点である。

SOIPIX の性能評価をするにあたり、まず読み出しシステムの開発を行った。読み出しシステムは大きく分けて 3 つの要素がある。まず、読み出し用の汎用ボードである SEABAS、SEABAS 上の FPGA に実装する Firmware、SEABAS から送られてくる Data を受け取る Software である。この中で Firmware と Software の開発を主に担当し、読み出しシステムを完成させた。この開発した読み出しシステムを用いて、SOIPIX の読み出し回路の Gain, Noise 等の動作特性を測定した。また、放射線に対する反応を調べる為に、X 線源、 β 線源などを用い、その反応を調べた。これらのテストより、今年度プロセスしたピクセル検出器が正常に動作するというを確認した。



ATLAS 実験 SCT シリコン飛跡検出器による精密飛跡再構成

目黒立真 筑波大学素粒子実験研究室 (物理学専攻)

ATLAS とは欧州原子核合同研究所にある陽子陽子衝突型加速器・LHC(Large Hadron Collider) に建設中の汎用型検出器の 1 つである。質量の起源とされる Higgs 粒子の発見や超対称性粒子の探索等が主な目的である。本研究で扱う SCT(SemiConductor Tracker)は ATLAS 検出器の内部検出器の一つであり、粒子の飛跡や生成座標の再構成を行う。一つのモジュールのセンサー面は $12 \times 6 \text{cm}^2$ の大きさで、ヒットポイントの 2 次元情報が得られる。モジュールを陽子ビーム軸中心に円筒型に 4 層並べることで粒子飛跡を測定する。

モジュールは、精度の良い方向での位置分解能が $16 \mu\text{m}$ という精密な構造であるが、事前に行われたモジュールの形状測定試験において、センサー面に歪みがあるとの結果が報告された。この歪曲の影響は、ヒットポイントが歪みにほぼ比例した大きさをシフトするという結果で現れ、それに伴い計算される飛跡情報にも影響を与える。この歪みの大きさは、センサーの端部においてセンサー面垂直方向へ最大 $200 \mu\text{m}$ 、平均で約 $80 \mu\text{m}$ である。

本研究の目的はセンサーの歪みが、飛跡情報に与える影響をモンテカルロシミュレーションにより評価し、この歪みによるヒットポイントの変位を補正するアルゴリズムが有用であるかを調べることである。

ATLAS 実験で実際に用いられるフレームワーク(ATHENA)の DetectorGeometry パッケージに改良を加えることで、それまで平らだったセンサーに歪曲を持たせる事を可能とし、平らなモジュールと歪みを含んだモジュールを用いてモンテカルロシミュレーションを行い、両者の結果を比較した。主にモジュールの位置分解能、飛跡の運動量(P)、インパクトパラメータ(d_0, Z_0)、運動方向(Φ, θ)の評価を行った。

その結果、飛跡情報のうちビーム軸と垂直方向の成分(P_t, d_0, Φ)への有意な影響は認められなかったが、ビーム軸方向の成分(z_0, θ)に対して変化が認められた。現在は、モジュールの形状を補正するアルゴリズムの開発が進められている。

2月10日

一般化された交換関係の下での場の量子論

仲井孝行 素粒子論研究室 (物理学専攻)

量子重力や弦理論の研究結果により、位置と運動量の不確定性関係が変更を受ける。さらに、プランクスケールで位置の不確定性に下限が生じ、位置の測定に限界が生じる。このような不確定性関係を実現する時空を考えると、量子力学で表れる正準交換関係が補正を受けることになる。本研究では、この一般化された交換関係を満たす時空の下でのスカラー場の理論を調べた。さらに、座標の交換関係が $SU(2)$ のリー代数の生成子の与える交換関係で与えられる時空上のスカラー場の理論について考えた。

Lie 3-Algebra and Multiple M2-branes

椎田順大 素粒子論研究室 (物理学専攻)

IIA 超弦理論の強結合極限の理論として M 理論という 11 次元の理論の存在が示唆されている。これは低エネルギー有効理論として 11 次元超重力理論をもち、M2-brane と M5-brane と呼ばれる二つの非摂動的物体が存在するが、これらの物体自体の理論については一枚の M2-brane の場合のみしか分かっていなかった。

しかし最近になって、複数枚の M2-brane についての場の理論である、BLG-model と呼ばれる理論が新たに提案された。これは Lie3-algebra という特殊な代数を用いて構成され、multiple M2-brane theory において期待されるべき対称性、即ち 16 超対称性および共形不変性、をもった Chern-Simons 型ゲージ理論になっている。本修士論文では、Lie3-algebra および BLG-model について詳しくみていき、Moduli の解析や、BLG-action から multiple D2-brane action が導かれることなどについて述べる。最後に、ABJM 理論と呼ばれる理論との関係についてもみていく。

初期宇宙におけるニュートリノの混合

加納雄嗣 素粒子論研究室 (物理学専攻)

温度が数 MeV の初期宇宙では、電子や陽子、中性子などのプラズマ中をニュートリノが運動している。ニュートリノの混合を考慮に入れたとき、このような状況におけるニュートリノの状態は密度行列で記述することができる。本研究ではこの密度行列の運動方程式をフェルミ定数の 1 次の項までで導いた。このときの有効ハミルトニアン の計算は有限温度の場の理論を用いた。

Yukawa couplings in $SO(5) \times U(1)$ GHU

with Top and Bottom quark

小林由和 素粒子論研究室 (物理学専攻)

We consider the gauge-Higgs Unification (GHU) scenario as a candidate that describes the behavior of Higgs particle beyond the standard model. The Higgs field is identified with the extra dimensional component of gauge fields in higher dimensional gauge theory. It is an important feature that the electroweak symmetry breaking is caused by the Wilson line phase through the Hosotani mechanism. In the $SO(5) \times U(1)$ gauge theory defined in Randall-Sundrum warped spacetime, wave functions and couplings of gauge fields such as ZZH, WWH couplings are determined. Further, to construct a realistic model, top and bottom quarks are introduced in the vectorial representation of $SO(5)$. The wave functions and Yukawa coupling of these fermions are determined at the tree level.

It is shown that the electroweak symmetry breaking is caused dynamically due to dominant contributions from top quarks. The scenario predicts the Higgs mass around 50 GeV. This result is consistent with the LEP2 bound, as the ZZH, WWH and Yukawa couplings vanish at the value of the Wilson line phase at which electroweak symmetry breaking occurs. This difference from the standard model is very important when we look for the Higgs particle. The way to detect the Higgs particle in LHC experiments needs to be changed.

J-PARC K1.8 beam line で用いる高計数率に対応した 飛跡検出器の開発

遠藤雅明 岸本研究室 (物理学専攻)

我々は過去に生成されたことのない中性子過剰ハイパー核、 ${}^6_{\Lambda}\text{H}$ 、 ${}^9_{\Lambda}\text{He}$ を、2重荷電交換反応である(π^{-}, K^{+})反応を用いて生成する実験を計画している。2重荷電交換反応とは入射粒子と反応により生成される粒子の電荷が2つ異なる反応であり、荷電交換のない反応に比べて陽子過剰、中性子過剰なハイパー核を生成することができる。ただしこの反応は荷電を交換しない反応に比べてハイパー核の生成断面積が約3桁も小さいため、高計数率で実験を行うことが要求される。このような研究を行うには、現在茨城県の東海村で運転を開始しつつある新しい陽子加速器実験施設、J-PARCが適している。J-PARCでは世界一の大強度陽子ビームを用い、過去の実験で類をみない high intensity π^{-} ビームを生成することが出来る。しかし、現状では J-PARC で予想される beam intensity で動作する飛跡検出器が存在せず、使用できる beam intensity は検出器で制限されている。そこで我々はより high intensity のビームを使用できるよう、より高計数率に対応できる飛跡検出器の開発を進めている。

本発表では主に2つの開発項目について報告する。第一は、1mm wire-spacing MWPCの性能評価について述べる。この検出器は AXIS collaboration が J-PARC で用いるために開発してきた飛跡検出器であり、昨年五月に東北大学の原子核理学研究所において high intensity 陽電子ビームを用いたテスト実験が行われた。この実験で確認された検出器の性能について報告する。また第二に、現在我々のグループが中心に行っている GEM (Gas Electron Multiplier) を用いた飛跡検出器の開発について報告する。GEM とは検出器のビームに対する rate 耐性を制限する空間電荷効果を抑え、信号を増幅することが出来るガス増幅のアイデアである。今回は GEM foil を2枚使用し、初期電子を GEM foil まで運ぶ領域、2枚の GEM foil の間、電子を増幅した後に読み出すまでの領域の電場の強さを変えた場合と、GEM foil にかける電圧自体を変えた場合にガス増幅がどの程度得られるか、またその傾向を調べた。このテスト結果について報告する。

ハイパー核の弱崩壊測定に用いるRange Counter

の波長変換ファイバーによる光読み出しの最適化

松田健翔 岸本研究室 物理学専攻

大強度陽子加速器施設(J-PARC)の π 中間子ビーム(K1.8 beam line)を用いて行われる ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ 弱崩壊測定でのターゲット周りに置かれる測定器の一つとして波長変換ファイバー光読み出しを用いたRange Counterの開発を行う。Range Counterはプラスチックシンチレータの積層カウンターであり荷電粒子の飛程を測定し、粒子を識別する目的で用いられる。

Range Counterの一層分の試作機として、プラスチックシンチレータと波長変換ファイバー光読み出しの組み合わせを数タイプ製作し、 ${}^{90}\text{Sr}$ の β 線を用いてシンチレーション光を測定して平均光電子数を見積もりRange Counterのデザインを決定する。また、GEANT4を用いたモンテカルロシミュレーションにより、Range Counterでの ${}^4_{\Lambda}\text{He}$ の弱崩壊で放出される π -中間子と陽子の粒子識別の効率とバックグラウンドを見積もる。

低温での CaF_2 結晶を用いたDark Matter Search手法の開発

和田真理子 岸本研究室 (物理学専攻)

Dark Matterの最有力候補であるWIMPsを探索するため、現在世界中でさまざまな実験が行われている。その中で我々はspin-dependentな相互作用を持つWIMPsの探索に有利な ${}^{19}\text{F}$ の原子核を含み、大型化が容易な CaF_2 シンチレータを使用するDark Matter探索実験の可能性を探っている。実験はWIMPsと ${}^{19}\text{F}$ の原子核反跳の信号を捕らえるというものであるが、そのエネルギーはおおよそ100keV以下である。このような低エネルギー領域には環境放射線などによるバックグラウンド(BG)が多い。そのため、二重ベータ崩壊実験CANDLES用に開発された高純度な CaF_2 結晶を用い、かつ主なBGの原因となる $\beta \cdot \gamma$ 線由来の信号を取り除くべく、何らかの信号弁別手段を開発する必要がある。私は、冷却した CaF_2 の波形情報に着目し、これを用いた $\beta \cdot \gamma$ 由来の信号と原子核反跳由来の信号との弁別の可能性を探った。

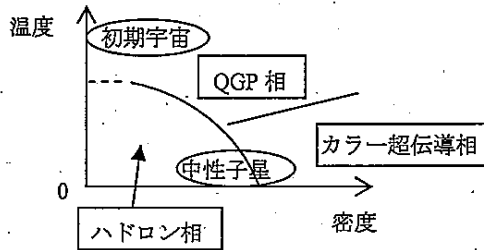
格子ゲージ理論による非平衡定常状態の

シミュレーションと粘性係数の解析

河野泰宏 原子核理論研究室 (物理学専攻)

本研究の目的は、格子ゲージ理論を用いた非平衡かつ定常状態のシミュレーション及びクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) の剪断粘性係数の測定に関する新たな方法の提案である。

QGP は初期宇宙のような高温状態 (約 200MeV 以上) や中性子星内部のような高密度状態 (通常の核物質の密度の数倍) において実現すると予想されている物質である。米国 BNL (ブルックヘブン国立研究所) の RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) での実験結果より、QGP は転移温度近傍においてほぼ完全流体的に振る舞うことが予想されている。また、AdS/CFT 対応から剪断粘性係数にはユニバーサルな下限値が存在することが予想されており、非常に小さな剪断粘性係数を持つ物質の候補として QGP が考えられている。これらを受けて近年、QGP の粘性係数に注目が集まっている。久保公式を用いた格子ゲージ理論による粘性係数の測定は過去に試みられているが、スペクトル関数の導出に自明でない仮定が置かれており、計算結果の妥当性については未だ疑問を残している。本研究では久保公式を用いない新たな粘性係数の測定方法を提案し、数値シミュレーションの結果を示すと共に剪断粘性係数の解析を行う。



D-parameter of the Neutron Beta Decay within MSSM

山中長閑 原子核理論研究室 (物理学専攻)

現在、電弱標準模型(SM)により多くの電弱過程の実験データが良い精度で説明される事が知られている。しかしながら、ニュートリノの質量や宇宙における粒子反粒子の存在比など標準理論を超えた理論の必要性が示唆されている。標準模型を超える物理を探索する重要なツールの一つに低エネルギー弱過程の研究がある。偏極した中性子のベータ崩壊における角度相関量 D は CP 対称性を破る物理量である。D パラメータは標準模型では非常に小さい値(10^{-12})が予言され、また電子・陽子間の終状態相互作用による寄与(10^{-9})が D にある事が知られている。

本研究では最小超対称標準模型(MSSM)に基づいた D パラメータの研究を行う。ここでは 1 ループ補正の範囲で D パラメータを調べ、J-PARC における中性子実験により MSSM の知見が得られる可能性について調べる。

Schwinger-Dyson 方程式による QGP 相における

質量を持ったクォークのスペクトル関数の解析

古川篤史 核物理研究センター理論部 (物理学専攻)

通常、クォークやグルーオンは陽子や中性子の中に閉じ込められており、どのようにしても単独の形で取り出すことができない。しかし、超高温状態では、この「閉じ込め」が破れ、クォークやグルーオンが自由に飛び交うことができると考えられている。ところが、RHIC の金 - 金衝突実験から、超高温状態でクォークはプラズマ状態になるが、気体のように自由に飛び回るのではなく、強く相互作用した完全流体のように振舞うことが分かった。

我々は、高温強結合領域でのクォークとグルーオンの性質を知ることが重要であると考え、Schwinger-Dyson 方程式を解くことによって様々な結合定数でのクォークのスペクトル関数を計算した。

先行研究では、質量が 0 のクォークのスペクトル関数を計算して、スペクトル関数の形やクォークが熱浴との相互作用により獲得した質量(Thermal mass)の変化を調べている。我々は、質量を持ったクォークのスペクトル関数を計算して、クォークの質量がスペクトル関数の形にどのような影響を与えるのかを詳しく調べた。

本論文では、質量が 0 のクォークのスペクトル関数と質量を持ったクォークのスペクトル関数の形を比較して、両者に違いがあることを示す。そして、クォークの質量がスペクトル関数に与える影響が大きいことを示す。

量子ハドロン力学による核物質と高密度天体についての考察と展望

大阪市立大学 上地舜 重力波実験物理学研究室 (数物系専攻)

重力波とは、光速で伝播する時空間の歪みである。

重力波の存在は一般相対性理論より 1926 年に A.Einstein によって予言されている。

また、J.H.Talor らの連星パルサー PSR1913+16 の観測から重力波の放出によって公転周期、公転軌道が変化することが確認され、重力波の存在が間接的に示された。

この観測結果と理論による予測は非常に高い精度で一致しており、重力波の存在は揺るぎないものとなっている。

しかし、重力場は物質との相互作用は非常に小さいため、直接検出は現在されておらず、高エネルギー、大質量天体から発生する重力波に検出の望みを託している。

重力波の主な発生源は中性子連星の合体、超新星爆発、連星ブラックホールなどの天体だと考えられており、その発生頻度、分布、発生する重力波の波形などの研究が進められている。

本論文では原子核宇宙物理の立場から中性子星の状態方程式を生成して応用し、重力波があることで、どの物理量に相関が見られるか、その可能性を調べるのが動機であり、目的である。

一般相対性理論、重力波、原子核モデルによる中性子星の構造などの重要な部分を概観し、これらを基本にして重力波との相関について考察する。

重力波との相関を調べることに合わせて、相対論的量子ハドロン力学を用いた核物質と中性子星の相関を調べた。

物理量とハイペロン結合定数、ハイペロン混合中性子星の状態方程式との相関、物理量に起こる相変化の際のシグナルについて議論する。

その研究結果を提示する。

Gluonic magnetic susceptibilities of the QCD vacuum

柳輝英 阪大 核物理学研究センター (物理学専攻)

We investigate the gluonic magnetic susceptibilities, κ and χ , of the QCD vacuum in the presence of the external electromagnetic field, based on the instanton vacuum with explicit flavor SU(3) symmetry breaking taken into account. The gluon operators are treated in terms of fermionic operators in the instanton vacuum effectively. Finally, we compare the present results with those of fermionic operators in the instanton vacuum. Finally, we compare the present results with those of the QCD sum rules.

Development of the Cavity Beam Position Monitor for a Next-Generation Linear Accelerator

柳善永 中野研究室 (物理学専攻)

A 2.04GHz cavity-type beam position monitor (BPM) was developed for the future International Linear Collider (ILC). BPMs of the ILC will measure beam positions with the resolution of a few hundreds nm. The cavity BPM is required to have a low Q-value for fast signal damping to avoid interference with succeeding bunch and to have high signal-to-noise ratio for high resolution position measurement. The cavity BPM was designed to pick up the second dipole TM₁₂₀ mode effectively through four symmetrically arranged waveguides. The HFSS simulation shows that the resonant frequency is 2.043 GHz and the Q-value is 1382. RF properties of the cavity BPM model was tested at KEK-ATF. The resonant frequency was measured to be 2.0438GHz and its bandwidth 8.4MHz. The coupling constant beta was found to be improved to 1.96 which is 11 times as high as that of the first prototype.

The performance of the cavity BPM was tested using electron beam at the KEK-ATF. The cavity BPM housed in a vacuum chamber was installed in the straight section at the end of the linear accelerator. Two stripline BPMs were placed at upstream and downstream of the cavity BPM as references. The differential signals from hybrid circuits were amplified and fed into 2.04GHz band-pass filters. The beam sweep-scan results proved a good spatial resolution of the level of sub-microns with the hybrid and amplifier circuits.

* 判定会議は 2月 10日 16:00 より H701 で開催されます。



物性グループ

会場 F102

2月9日

非弾性 X 線散乱による $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ のフォノンの分散関係

小林順一 田島研究室 (物理学専攻)

近年、光学フォノンのソフトニングが超伝導体 $Mg(B_{1-x}C_x)_2$ [1]や銅酸化物[2]で観測されており、超伝導状態に対する電子・格子相互作用の寄与が再び注目されている。電子・格子相互作用は超伝導のクーバー対形成の機構の一つであるが、それをフォノンの分散関係から調べた報告例は少ない。そこで、電子・格子相互作用が強い系である $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ を研究対象に選び、その絶縁体-金属 (超伝導) 転移近傍においてフォノンの分散関係がどのように変化しているのかを調べた。

$Ba_{1-x}K_xBiO_3$ は $x=0.35$ 近傍で絶縁体-金属転移を示し、それと同時に金属相の低温で超伝導状態が出現する。母物質である $BaBiO_3$ では電荷密度波が出現していることから、 $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ は電子・格子相互作用が強い物質であると考えられている。本系に関して、非弾性中性子散乱によってフォノンの分散関係が調べられており[3]、金属組成の試料において Bi-O の結合長変調フォノンのソフトニングが観測されているが、測定されたのは $x=0.02, 0.40$ の 2 組成のみである。本研究では、さらに詳細な組成依存性を調べるために、電気化学法で単結晶 $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ ($x=0, 0.30, 0.37, 0.52$) を育成し、SPring-8 のビームライン BL35XU において、非弾性 X 線散乱の手法により調べた。その結果、低エネルギー領域では金属組成の $Ba_{1-x}K_xBiO_3$ と $BaBiO_3$ のフォノンの分散関係に明確な違いは見られなかった。一方で、高エネルギー領域 (60~80meV) では、金属組成において Bi-O の結合長を変化させるモードのフォノンが Brillouin 境界に向かってソフトニングを起こしていることを示唆する結果が得られた。このことから、フォノンのソフトニングは系が金属化することで起きており、電子・格子相互作用の組成依存性には依らないことがわかった。

[1] A. Q. R. Baron *et al.*, Physica C 456, 83 (2007)

[2] H. Uchiyama *et al.*, Phys. Rev. Lett. 92, 197005 (2004)

[3] M. Braden *et al.*, J. of Superconductivity, 8, 595 (1995)

反射型テラヘルツ時間領域分光でみる

$La_{2-x}Sr_xCuO_4$ の光学スペクトル

松岡哲平 田島研究室 (物理学専攻)

銅酸化物高温超伝導体では分光測定で超伝導転移温度 (T_c) 以下でも遠赤外領域に残留伝導度がみられる [1] など、低エネルギー領域の光学スペクトルに異常が観測されている。高温超伝導体で観測されるこれらの異常を解明するためには低エネルギー領域における詳細な分光測定が必要である。一方、フェムト秒レーザー技術の発展に伴い低エネルギー分光の手法としてテラヘルツ時間領域分光 (THz-TDS) [2] が近年実用化された。THz-TDS では数 meV スケールのエネルギー領域を取り扱うことが可能で、反射率の外挿を行うことなく光学定数を導出できるという利点を持つ。これまでは透過型 THz-TDS システムが一般的に用いられてきたが、バルク超伝導体は T_c 以下の温度で反射率が 1 に近付くため、反射型システムの構築が必須である。

以上の背景から我々は反射型 THz-TDS システムを立ち上げ、このシステムで高温超伝導体の低エネルギー領域における光学スペクトルを測定することを試みている。本研究ではシステムの測定精度向上を目指し反射型 THz-TDS システムの改良を行うとともに、 $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ ($x=0.10, 0.12, 0.13$) の反射率の測定を行った。測定した全ての試料の面間反射率スペクトルには超伝導転移温度以下で明確なジョセフソンプラズマエッジが観測された。特に $x=0.10$ の試料の面間反射率スペクトルは過去の報告とよく一致し、システムの有効性を裏付けた。発表では本システムで測定した $La_{2-x}Sr_xCuO_4$ の光学スペクトルについて報告する。

[1] J. Schützmann *et al.*, Phys. Rev. Lett. 73 174 (1994)

[2] Ed. K. Sakai, Terahertz Optoelectronics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York, 2005, pp. 271-330

マルチバンド超伝導体 MgB_2 の不純物置換効果と圧力効果

三笠雄司 田島研究室 (物理学専攻)

MgB_2 は $T_c = 39\text{ K}$ で超伝導転移する代表的な 2 ギャップ s 波超伝導体である。結晶構造は 2 次元性な B、Mg 面を内包し、伝導バンドには 2 次元性を持つ σ バンドと 3 次元性をもつ π バンドの 2 種類がある。 σ バンドと B 原子の面内光学フォノンモードが強く相互作用し、それが比較的高い T_c の起源となっている。 MgB_2 の電子的性質は次元性の異なる 2 つの伝導バンドの寄与が、バンド内/バンド間散乱、電子ドーピング、磁場などによって変化していくことで、単一バンド超伝導にはない多彩な様相を示す。

これまでキャリアドーピングや超伝導対称性の検証という観点から不純物置換効果が研究されており、代表的なものに B 原子の C 置換、Mg 原子の Al、Mn 置換が挙げられる。C、Al 置換では、電子ドーピングに伴う電子格子結合定数の減少により T_c は低下する。また、Mn 置換ではスピン散乱による強い超伝導対破壊が起き、 T_c の急激な減少が観測される。いずれもこれらの効果に付随して、残留抵抗の増大が見られるが、電気抵抗率の温度依存性に注目すると、不純物によって効果が異なる。これは各伝導バンドへの不純物散乱効果に違いがあるためと考えられる。

本研究では、不純物散乱効果に関するさらなる知見を得ることを目指し、インデンター型圧力セルを用いて、不純物置換 MgB_2 の圧力下での抵抗率、 T_c 、 H_{c2} の変化を観測した。どの不純物置換においても、非置換 MgB_2 と同様に T_c の減少が観測された。この T_c の低下は光学フォノンの結合定数の減少に伴うものであり、非置換 MgB_2 では、その影響は室温付近での散乱の抑制に見られる。同様の散乱の抑制は、Al 置換 MgB_2 において観測された。一方、C 置換では圧力による抵抗の変化は確認できなかった。

Al 置換では π バンドの散乱が増大するため、 σ バンドの伝導度への寄与が相対的に大きく、圧力印加により σ バンドの光学フォノンモードとの結合定数の減少が見られたと考えられる。それに対し、置換サイトの異なる C 置換では、相対的に σ バンドの伝導度への寄与が小さく、かつ π バンドの電子フォノン結合定数の圧力による変化がほとんどないことを反映していると考えられる。

高温超伝導体 $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ の

過剰ドーピング領域における電荷応答

山本将史 田島研究室 (物理学専攻)

銅酸化物高温超伝導体は伝導を担う CuO_2 面内のキャリア濃度を制御することが可能で、それによりその物性も大きく異なる。過剰ドーピング領域と呼ばれるキャリア濃度の高い領域では系は通常のフェルミ流体に近づくと考えられているが、試料作製自体が困難なこともあり、不足ドーピング領域、最適ドーピングほどの研究報告はなされていない。しかし、高温超伝導を理解する上でこの領域の研究は欠かせないものであり、また興味深くもある。過剰ドーピング領域の特異な振る舞いとして、超伝導転移温度以下で $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ の c 軸偏光光学伝導度スペクトルにおいてドルーデ型の残留成分が観測されており、このことから過剰ドーピング領域において超伝導対の破壊が起こっていることが示唆されている[1]。本研究では、系がフェルミ流体に近づいてく様子、超伝導対破壊が過剰ドーピング領域における本質なのかを検証することを目的とし、通常の過剰ドーピング $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ の他に Y サイトに Ca を置換することでキャリアがより過剰にドーピングされた $Y_{1-x}Ca_xBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ を使い、面内反射率分光測定を行った。得られたスペクトルを解析することでその組成依存性を調べた結果、過剰ドーピング領域での超伝導対破壊が銅酸化物高温超伝導体の本質であると考えられる。また、 $YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$ は b 軸方向に CuO 鎖と呼ばれる特有の 1 次元構造を持っており、この CuO 鎖は単に CuO_2 面にキャリアを供給するだけであると考えられてきた。しかし、本研究の実験結果より、 CuO 鎖自体が超伝導転移を起こしている可能性が示唆される。

参考文献

- [1] S. Tajima *et al.* : Phys. Rev. B 55, 6051 (1997)

Gdをドーブした GaN ナノロッドの作製と評価

亀岡 恒志 朝日研究室 (物理学専攻)

これまで我々の研究室では、MBE法を用いて GaN に希土類元素である Gd をドーブした GaGdN 半導体薄膜を作製しそれが室温以上で強磁性が現れることを見出した。また、Si(001)基板の自然酸化膜(SiO₂)上に窒素リッチ成長条件下で、細いもので径が 50nm 程の c 軸に強く配向した GaN の柱状結晶の成長に成功しており、この柱状結晶は通常ナノロッドと呼ばれている。本研究はこれら実績のある 2 つの研究を融合させ、GaGdN ナノロッドの作製を行い GaN ナノロッドにすることで Gd が Ga サイトに正しく置換するのかを成長条件依存性を研究した。SEM 観察によりナノロッド径と成長条件(特に Gd 濃度依存性)、および XAFS による Gd 周りの局所構造の成長条件依存性を観測した。

サンプルの作製には RF-MBE 法を用い、Si(001)基板の自然酸化膜(SiO₂)上にまず基板温度 450°C で低温 GaN buffer 層を成長した。その buffer 層を 800°C でアニールした後、その温度で GaN ナノロッドを形成した。引き続き基板温度を 550°C まで下げ GaGdN ナノロッドを成長した。Gd の濃度依存性を見るため Gd セル温度を 1150°C から 1050°C まで変化させている。

成長中に RHEED 回折パターンからナノロッドは c 軸方向に配向していることを確認した。SEM の観察からもナノロッドは c 軸に配向しているが Gd の添加量がある値を超えた時、その添加と同時にナノロッド径が大きくなるという観測を得た。また、XAFS を用いて Gd L_m edge を調べることによって Gd 周りの局所構造を調べたところ、この成長条件で作製したサンプルはすべて Gd は Ga サイトを置換していることがわかった。しかし、III-V 比をより窒素リッチ条件で作製したサンプルについては Gd は Ga サイトを置換せず GaN が形成されており置換型の GaGdN ナノロッドは成長されなかった。これは熱力学的に Gd は Ga より N と結びつく方が安定であるため V 族比を増加させた場合 GaN が形成されてしまうと考察している。局所構造評価においては Gd 置換性をより精密に評価するため元素構成が詳しく反映される XANES 領域においてシュミレーションを交えて考察を論じている。

InP 上に MBE 成長した TlInGaAsN の構造及び光学評価

田中裕輔 朝日研究室 (物理学専攻)

バンドギャップの温度依存係数が正の材料と負の材料の混晶は、うまく組成を調整すれば温度に対してバンドギャップが変化しない事が期待される。この事から、半導体と半金属の混晶で作った発光デバイスは温度変化に対して発振波長が非常に安定であると予想できる。本研究では半金属であると予想される TlAs を含み、温度安定性が非常に重要である光通信帯域に発光波長を持つ TlInGaAsN を InP(001)上に GS-MBE 法を用いてエピタキシャル成長した。当研究室の今までの研究から、Tl の含有量を増やすには窒素組成を数%まで増やす事が有効である事がわかっていた。しかし、III-V 族半導体への窒素の添加は結晶構造や光学特性に多大なる負の影響を及ぼし、それは窒素組成の増加に伴い顕著に悪化することが近年の研究から広く一般に知られている。

このような N の添加による問題は N 組成が 2%前後の試料においては、TlInGaAsN 層を複数に分割し間にスペーサーとして TlInP 層を挿入した多層構造にする事で解決される事がわかった。また、スペーサー層の膜厚を変化させる事で結晶性、発光強度、表面平坦性に変化が生じる事もわかった。またそのように窒素添加による負の影響を抑えた状態で発光波長の温度依存性が安定する事も判明した。しかし、同時に試料の温度を下げて発光を観察していくと、発光が 2 つに分裂していく奇異な現象が観測された。

そこで、試料を透過電子顕微鏡で観察すると、TlInGaAsN 層において [1-10] 方向に自発的にウォール状の超格子が、成長方向と平行に形成されていて、z コントラストの違いが明確に観察された。

当日はこれらの詳細について報告する。

Cr ドープ III 族窒化物希薄磁性半導体の結晶成長とその物性

徳田 克彦 朝日研究室 (物理学専攻)

希薄磁性半導体は、半導体の電気特性、光学特性に磁気特性を加えることによってまったく新しい機能を持ったデバイスの創製が期待されている材料である。III 族窒化物半導体である GaN, AlN, InN に磁性元素をドーピングした磁性半導体においては、GaMnN などの系で様々な研究がなされているが、それらの磁性の起源については未だ定説はなく、追及することは非常に有意義である。本研究では、分子線エピタキシー法により GaCrN, AlCrN, InCrN を作製し、X 線回折法(XRD)や X 線吸収スペクトルおよび、それに現れる微細構造(XAFS)などを測定することにより、それらの構造特性、局所構造、電子状態などに迫り、磁性の起源を追及することを目標としている。

ドーピング原子 Cr は、母体のカチオンサイトに置換型で混入する必要があるため、そのための成長条件を模索した。GaCrN, InCrN の高温の成長温度(基板温度)で作製したサンプルについては、Cr はカチオンサイトに置換せず、反磁性の二次相 CrN として析出する傾向が強く、低温の成長温度で作製したサンプルにおいては、Cr がカチオンサイトに置換型で固溶していることが XRD, XAFS 解析によりわかった。低温成長で作製したサンプルの方が、Cr のマイグレーションを抑制できることにより、置換型で混入できていると考えられる。AlCrN においても低温成長で作製したサンプルの方が、Cr が Al サイトに置換しやすい傾向があったが、高温成長で作製したサンプルでは、NaCl 型の CrN にはならず、bcc の Cr と AlN に相分離していることを見出した。

低温成長($T_s=540^\circ\text{C}$)で作製した GaCrN の Cr 周りの局所構造を解析すると局所構造が歪んでいるという知見を得た。これは、ヤーン・テラー歪み(Jahn-Teller distortion)によるものだと考察している。精密解析により、配位数や動径距離を導出した結果などの詳細、考察などについても論じている。

GaN 上の Fe ドット形成とその I-V 特性

本多裕也 朝日研究室 (物理学専攻)

強磁性金属は非磁性半導体へのスピン注入源として重要である。また、最近の理論計算によると、GaN 中では GaAs に比べてスピン緩和時間が長いことが予測されている。これらのことから、Fe/GaN 構造は、GaN 半導体中でのスピン依存輸送現象を調べる上での良い対象といえる。本研究では GaN(0001)上に成長した Fe ナノ構造の形成と磁性を調べた。

MOCVD 法でサファイヤ基板上に作製された GaN 上に超高真空中で電子ビーム蒸着により、室温で Fe を蒸着させた。成長した Fe 薄膜の結晶構造は、反射高速電子線回折(RHEED)、走査トンネル顕微鏡(STM)により評価した。磁気特性は超伝導量子干渉素子(SQUID)磁力計で測定した。強磁性を示すサンプルの飽和磁化から Fe の成長レートは 0.4nm と見積もった。

Fe 蒸着中の RHEED 観察から、最初に多結晶の膜が成長し、次に Fe[111]//GaN[11-20] (NW 方位関係)または Fe[100]//GaN[11-20] (KS 方位関係)のエピタキシャル関係を持つ

Fe(110)層が成長することが分かった。図 1(a)は NW+KS 方位関係を持つ Fe(110)の STM 像であり、細長いナノドットがあるのが分かる。このサンプルについて針に鉄を蒸着し、伸びた方向の違うドットについてスピンの依存する I-V 特性を調べたところ図 1(b)のグラフが得られた。このことから、これら二つのドットのスピンの向きは異なることが分かる。

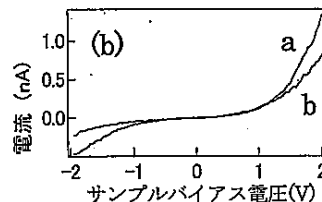


図 1 (a)NW+KS 方位関係を持つ Fe(110)の STM 像 (70nm×70nm) (b)スピンの依存する I-V 特性

Fe 置換 Li_2MnO_3 の ^{57}Fe メスバウアー分光

池田泰大 斎藤研究室 (物理学専攻)

Mn サイトに Fe を部分置換した Li_2MnO_3 は、Li イオン二次電池の正極材料への応用が注目されており、鉄の価数の増加による正極の理論容量の増加が期待できる。母相の Li_2MnO_3 は、Mn (4g サイト) -Li (2b サイト) 層と Li 層が、短い層間距離で積層した層状岩塩型構造を持ち、Mn-Li 層に Fe を置換すると、Fe は一般に安定な 3 価より、更に酸化されたイオン半径の小さい 4 価以上の高原子価鉄が出現すると考えられる。そこで ^{57}Fe メスバウアー分光法等により置換した Fe の価数状態、局所環境を調べた。

焼成温度が異なる 8 種類の試料を作製し、メスバウアー効果を測定したところ、異性体シフトが小さく高原子価鉄に帰属できる成分を観測した。XRD パターンの測定では超格子ピークが現れ、その強度は焼成温度が高いほど強くなった。XRD-リートベルト解析により、遷移金属は Mn-Li 層の 4g サイトのみならず、2b サイトをも占有する結果を得た。4g サイトの遷移金属占有率が高い試料は超格子ピークが強く、また同サイトの高原子価鉄の割合が多いことが示された。以上の結果から、Mn-Li 層で、高原子価鉄が 2b サイトから 4g サイトへ移動し、 Li_2MnO_3 における遷移金属配列に近づくことがわかり、この規則配列化と価数状態との間に相関があると示唆される結果を得た。

カーボンナノチューブの生成における Fe-Mo-C 三元系触媒の構造

清水拓真 竹田研究室 (物理学専攻)

カーボンナノチューブ(CNT)は、直径数 nm の金属微粒子を触媒として成長し、その直径や層数などが金属微粒子の種類やサイズに依存することが知られている。また、一般的に Fe、Co、Ni などが触媒金属として用いられるが、これらに Mo を添加することにより、CNT の生成量が増加するという報告がある。しかし、そのメカニズムは未だ解明されておらず、Mo を添加した触媒微粒子の構造について詳細に調べた報告もない。本研究では環境制御型透過電子顕微鏡(ETEM)を用いて、CNT 生成中の触媒微粒子の構造を調べることにより、CNT 生成への Mo 添加効果を明らかにすることを目的としている。

触媒として Fe のみ、あるいは Fe と Mo の両方を、Si 基板上に真空蒸着した。この際 Fe の膜厚は全て 1.0nm に統一した。その基板を ETEM 内で加熱し、炭素源として C_2H_2 を流すことで CNT を成長させた。電子回折、高分解能観察により、CNT 生成中の触媒の構造を調べた。

反応温度 600°C での CNT の生成量は、Mo の添加膜厚を 0.25、0.5nm と増加させるに伴い Fe のみの場合よりも増加した。Fe のみを蒸着した試料には Cementite(Fe_3C)と Fayalite(Fe_2SiO_4)が生成していることが電子回折から分かった。一方、Mo を添加した試料には Fayalite は生成しておらず、Cementite と Fe-Mo-C 三元合金が生成していた。高分解能観察により、Cementite と Fe-Mo-C 三元合金からの CNT 生成は観察できたが、Fayalite からの生成はみられなかった。反応温度 570°C のとき、Fe のみの場合には Magnetite(Fe_3O_4)のみが生成し、CNT はほとんど生成しなかった。Mo を 0.25nm 添加すると、Fe-Mo-C 三元合金が生成し CNT の生成量が大幅に増加した。

以上のことから Mo の添加により CNT の生成量が増加する理由は、触媒作用を持たない Fayalite の生成が抑制され、触媒作用を有する Fe-Mo-C 三元合金が Cementite より低温で生成されるためであると考えられる。

金平糖型 SiC 微粒子の生成

高尾修平 竹田研究室 (物理学専攻)

SiC は広い禁制帯幅を持つ化合物半導体であることから、Si に変わる電子デバイスの素材として注目されてきた。また近年では、SiC のナノワイヤにおいて直径ゆらぎ、積層欠陥密度ゆらぎも見出され、基礎的な観点からも研究が行われている。本研究では、金平糖に似た特徴的な形状を有する微粒子 (SiC コンペイトウ) を創製した。そして、その形状・構造を調べ、形成メカニズムを解明することを目的とした。

SiC コンペイトウ生成のために MOCVD 装置を自作した。原料ガスにはメチルビニルジクロロシランを用い、生成のための基板には Si を、また生成触媒として Fe を用いた。生成温度と原料ガス圧はそれぞれ 1100°C、20Pa とし、成長時間は 10 分から 120 分間とした。観察には主に走査型電子顕微鏡と透過型電子顕微鏡を用いた。また、SiC コンペイトウの構造をより詳しく調べるために、分析電子顕微鏡による観察・測定、電子線トモグラフィ法による 3 次元形状情報の取得、断面試料作製による内部構造観察を行った。

SiC コンペイトウは直径数百 nm~数 μm の微粒子で、表面には数 nm~数十 nm サイズの凹凸が多数あり、ナノワイヤの先端に生成する。その大きさと形状は、成長時間に依存する。また、Si 基板上的 Fe 触媒を蒸着した領域にのみ SiC コンペイトウが生成し、生成場所を制御することが可能である。さらに断面観察より、ポーラスで複雑な内部構造を持つことがわかった。これら観察結果に基づき、金平糖の形成メカニズムとの比較を交えながら、SiC コンペイトウの形成メカニズムを考察する。

環境制御型透過電子顕微鏡法による

カーボンナノチューブ生成のその場観察

種本裕介 竹田研究室 (物理学専攻)

カーボンナノチューブ (CNT) は、代表的なナノ物質の一つであり、高い熱伝導性・引っ張り強度、構造に依存して半導体にも金属にもなるという電気的特性など様々な興味深い物性を持ち、幅広い応用が期待されている。CNT の成長速度は CNT を用いたデバイスの作製をする上でも、また CNT の成長素過程を解明する上でも非常に重要な量である。しかしながら、成長のその場観察からそれを直接的に決定した例はほとんどなく、系統的な実験は行われていない。本研究では、環境制御型透過電子顕微鏡 (Environmental Transmission Electron Microscope; ETEM) を用い、CNT 生成のその場観察を行い、1 本 1 本の CNT について成長速度を計測した。

Mo メッシュ上にシリコンナノワイヤを分散させ、触媒として Fe を真空蒸着した。その試料を ETEM 内で 500°C~800°C に加熱し、原料ガスの C_2H_2 を導入し、化学気相成長法による CNT の生成・その場観察をおこなった。右図に一例を示す。触媒微粒子から CNT が上方方向に向かって成長している。矢印で示した CNT の折れ曲がりなどの欠陥を手がかりに、CNT 成長速度の計測を行った。その結果、直径が大きく層数が多い CNT ほど成長速度は小さくなることがわかった。また成長速度は生成温度にも依存し、生成温度が高いと成長は速くなった。発表では、その場観察例を紹介し、それぞれの成長速度について議論する。

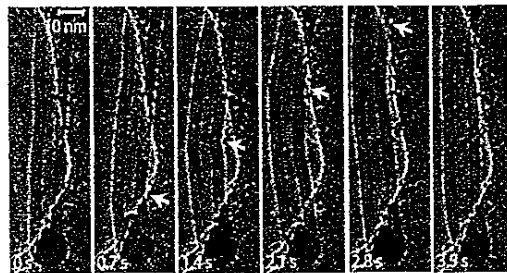


図 1: CNT 生成のその場 ETEM 観察例

通電によるナノチェーン/ナノチューブ変換の電子顕微鏡その場観察

野上隆文 竹田研究室 (物理学専攻)

近年、次世代のデバイス材料としてシリコンナノワイヤが注目され、その電気的性質に関して多くの研究がなされている。その一種にシリコンナノチェーンがあり、シリコン結晶球がチェーン状に周期的に連なり、結晶球の外側及び連結部が酸化シリコンという特異的な構造を持つ。ナノチェーンについてはこれまで、走査型電子顕微鏡 (SEM) 内でマイクロマニピュレータを用いて、そのネットワーク構造の電気伝導特性を調べる研究が行われてきた。本研究では、透過型電子顕微鏡 (TEM) 内でマイクロマニピュレータを用い、ナノチェーン一本の電気伝導特性を、TEM 像を観察しながら評価した。その過程で、高電圧を印加し・通電させることにより、ナノチェーンがナノチューブへと変換される現象を発見し、変換の様子その場観察に成功した。さらに、チューブ化した物質の電子顕微鏡観察、チューブ化前後での EDX 元素分析および I-V 測定から、このナノチューブが炭素で構成されていることを明らかにした。

W tip を TEM 内で操作し、Au wire に付着させたナノチェーン一本に接触させ (図 (a))、室温にて電圧を印加した。電流は電圧に対して非線形的に増加していき、ついには電流が $10^1 \sim 10^2$ nA 流れたところでナノチェーンが破断し、ナノチューブへと変換された (図 (b))。この現象は、ナノチェーン表面の炭素が凝集し、ナノチューブを形成後、コアのシリコン酸化物がジュール熱により蒸発することによって起きたと考えられる。

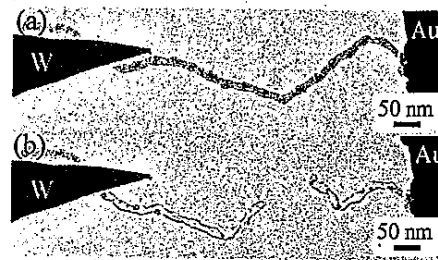


図. ナノチューブ変換前後の TEM 像
(a) 変換前、(b) 変換後

多体相互作用をもつレプリケータ方程式について

大浦健志 菊池研究室 (物理学専攻)

統計力学においては多数の要素からなる系のマクロなスケールの現象、特に要素が多数になることによってミクロなダイナミクスのみからは説明し得ない現象に焦点が当てられます。近年、この統計力学の手法や考え方は物理で従来考えられてきた系だけでなく、多数の要素の相互作用からなる様々な系について応用が考えられています。本研究においてはひとつひとつの競争や相互の協力からなる社会現象などに関して統計力学的な視点から行ったものです。

具体的には、生態学において個体数の変動を表すモデルとして知られ、またゲーム理論などのモデルにも応用されているレプリケータ方程式を統計力学の手法において調べ、また実際のコンビニエンスストアのPOSデータを用いて実データの解析も行いました。

本講演においては、多体相互作用を持つレプリケータ方程式におけるモデルとしての数理的な面と生態系としての対応という面、両面について述べます。

低次元半導体の光学応答におけるフェルミ端特異性

中田喜之 小川研究室 (物理学専攻)

近年、電子ドープ量を自由に制御できる低次元半導体を用いた光吸収(発光)の実験が盛んである。ノンドープ系の半導体の場合、バンド間遷移の光学スペクトルには、励起子ピークが観測される。一方、半導体に電子をドープする場合、伝導帯にフェルミ面が生じるため、そのバンド間遷移の光学スペクトルの形状は、べき的な異常性を有する。これはフェルミ端特異性と呼ばれる。このフェルミ端特異性は、電子ドープ量を増やすと、より顕著になる。さらに、電子ドープ量が低密度の領域では、励起子ピークだけではなく、荷電励起子(トリオン)による吸収(発光)ピークが生じるため、光学スペクトルの形状は、ノンドープ系とドープ系で大きく異なる。この現象を説明する理論研究は、極めて少ない。また、ドープ系の場合、電子相関の取り扱いが重要となるが、半導体の光学スペクトルの解析において、これまでの理論研究では十分に電子相関効果が評価されていない。

本研究では、低次元半導体の光学吸収(発光)スペクトルを計算することにより、電子のドープ量が、ノンドープから低密度領域、高密度領域へと変化する際のスペクトル形状の変化を調べ、フェルミ端特異性の影響について考察した。低次元半導体の系をMahan-Nozieres-De Dominicis(MND)モデルとして取り扱い、二次元と一次元の半導体の光学スペクトルの計算を行った。これらの計算手法には、時間依存結合クラスター展開法を用いた。電子正孔間相互作用が、接触型である場合と、 $1/r$ 型である場合の二種類について、光学スペクトルの計算を行った。その結果、励起子ピーク、荷電励起子ピークの二つのピークを持つ光学スペクトルを再現することに成功した。また、ドープ量の低密度領域に着目するために、電子間相互作用を考慮する計算も試みた。電子間相互作用をHartree-Fock近似によって考慮し、結合クラスター法で光学スペクトルの計算を行った。また、接触型の場合の積分吸収強度を、吸収(発光)の応答関数から計算し、ドープ量を変化させる際の、励起子や荷電励起子のピークの大きさの移り変わりに関する物理的な描像を考察した。

密度不均衡のある電子正孔系における量子凝縮

山下和男 小川研究室 (物理学専攻)

半導体を光励起すると実現する電子正孔系では、極低温において電子と正孔の対凝縮相の実現が期待されている。これまでの議論の中心は電子密度と正孔密度が同じ場合での対凝縮であったが、本研究ではこれらの密度が異なる場合に注目した。対を作る粒子の密度に不均衡がある場合については、有機物や重い電子系における超伝導や、カラー超伝導、冷却原子系においても先行研究があり、FFLO(Fulde-Ferrel-Larkin-Ovchinnikov)などのエキゾチックな相の実現が期待されている。計算は、最近特にこの分野で注目されている系である結合量子井戸(Coupled Quantum Well: CQW)における実験を念頭において、絶対零度における2次元電子正孔ガスモデルを平均場近似を用いて解析した。計算結果について、過去に電子正孔系で行われた計算や、冷却原子系での計算との比較検討を行った。この研究によって電子正孔系では、これまで思われていたよりも相図上のより広い範囲でFFLOが実現する可能性があることがわかった。その他、Sarma(またはBreached-Pair)相の出現可能性について粒子の質量比を変えて議論を行った。その結果、Sarma相の実現には非常に大きな質量比が必要であることがわかった。

同時ドーピングによる高温強磁性半導体のマテリアルデザイン

藤井将 産業科学研究所量子物性研究室 (物理学専攻)

半導体スピントロニクスの実現の為に、室温でも強磁性を示すような高いキュリー温度をもった希薄磁性半導体 (DMS) を合成する努力がなされている。第一原理計算によると、DMS中の磁性不純物元素同士の磁気的なパーコレーション効果は、磁性不純物が低濃度の場合には消失してしまう。この様に、高いキュリー温度をもつ DMS 作成の為に、母体半導体中の磁性不純物元素の濃度を上げる事が重要である。しかし、一般に、磁性不純物は溶解度が非常に小さいことが実験的、理論的に知られている。

本研究では、第一原理計算に基づいて、DMS 中の磁性不純物の溶解度を上げるための方法として、同時ドーピング法を提案する。計算には Korringa-Kohn-Rostoker coherent potential approximation (KKR-CPA)法を用いた。GaAs 中に磁性不純物である Mn を添加する場合の混合エネルギーの計算を行うと、Mn は全ての濃度領域で溶解しにくい傾向があることが解った。これは実験による結果と一致する。ここで、Mn と共に Li 元素を同時に添加した計算をすると、Mn 不純物と Li 不純物との補償効果により、Mn の GaAs に対する溶解度が劇的に上がる事が解った。この同時ドーピング法により、GaAs 中に Mn 磁性不純物元素を大量に溶かし込む事が出来るようになると思われる。

しかし、同時ドーパントによる補償作用は、キャリア誘起である DMS の強磁性を抑制する働きをする。これでは磁性不純物がいくら高濃度であっても意味が無い。そこで、キャリアを復活させるため DMS の結晶成長後に、この同時ドーパントだけを熱処理によって結晶中から取り除く事を考える。同時ドーパントが比較的小さい格子間不純物であれば、大きな拡散係数を持つので、低温でも容易にアニールアウト出来ると考えられる。

この格子間不純物元素のアニーリング効果を定量的に議論する為に、同時ドーパントの結晶中での拡散の動的モンテカルロシミュレーションを行った。

ゼオライト LSX 中の Na-K 合金クラスターの電気伝導特性

大脇章弘 野末研究室 (物理学専攻)

ゼオライト LSX では、内径約 13 Å のスーパーケージと内径約 7 Å の β ケージがそれぞれダイヤモンド構造で配列している。陽イオンとして K を含む K_{12} -LSX に K を吸蔵させると、1 ユニット (スーパーケージと β ケージ 1 つずつ) 当たりの吸蔵量 n が $8.7 < n$ でフェリ磁性が観測されるが、Na を含む Na_4K_8 -LSX 中の合金クラスターでは $6.7 < n < 7.9$ で N 型フェリ磁性が観測され、磁性や n の範囲に違いが見られる。一方、これらの高濃度吸蔵試料では、電子スピン共鳴や光学測定などから金属的になっていることが予想されている。しかし、試料は粉末でしかも大気中に出せない。そこで、直接、電気抵抗の測定を行うために、専用の気密セルを作製し、二端子法による交流インピーダンス測定を行い、その結果を等価回路を仮定して解析し、低周波極限の抵抗値 ρ を求めた。本研究では、 K_{12} -LSX において絶縁体から金属へ変化する $4.9 \leq n \leq 6.5$ の温度依存性の詳細と、新たに Na_4K_8 -LSX を測定し、両者を比較をした。

図1はKを吸蔵させた K_{12} -LSXの電気抵抗率 ρ の温度依存性である。 $n=1$ では、イオン伝導しか起こらない $n=0$ とほとんど同じ値を示した。 $n=3$ では3桁程度 ρ が減少するが温度依存性は絶縁体型である。 $n=5.6$ では、室温付近の ρ は $n=3$ より逆に顕著に増加するが、170 K付近で急激に減少し $n=3$ より小さくなる。この奇妙な温度依存性は $n=4.1$ と 6.2 でも多少観測される。また n の増加とともに低温では温度依存性は小さくなり、 $n=5.6$ 以上では、低温でも金属状態にあると考えられる。図2はKを吸蔵させた Na_4K_8 -LSXの ρ である。室温付近では吸蔵濃度に対して順に減少する。170K 付近の奇妙な温度依存性は $n=5.1$ 以上で見られる。 $n=7.1, 8.2$ では室温付近では約 $100 \Omega\text{cm}$ でほとんど温度依存しない。しかし、50 K 以下では急激に増大し、低濃度の試料と値が逆転する。このようにNaイオンの存在によって、低温での電気抵抗に大きな違いが見られることが明らかになった。

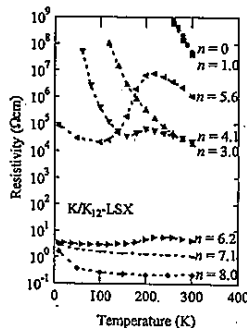


図1 K_n/K_{12} -LSX の電気抵抗率の温度依存性

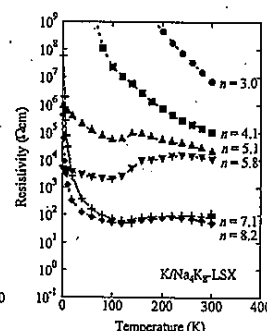


図2 K_n/Na_4K_8 -LSX の電気抵抗率の温度依存性

ゼオライト A 中の Mn クラスターの物性

松野泰英 野末研究室 (物理学専攻)

少数の遷移金属原子が凝集したクラスターは、バルク状態では見られない特有の磁性を示すことが知られている。ゼオライト A では内径約 11 Å の α ケージと 7 Å の β ケージが周期的に配列した構造をもっている。負に帯電した骨格のすき間に α ケージあたり 12 個分布する Na 陽イオンは種々の遷移金属イオンに交換できる。それを真空中で加熱脱水し、カリウム金属を吸蔵させると、遷移金属は還元されて凝集し、遷移金属クラスターが形成される。バルク状態では反強磁性を示す Mn は、小さなクラスター(6 原子以下)では、強磁性状態と反強磁性状態のエネルギー差が非常に小さいことが電子状態計算から示されており、強磁性クラスターになる場合があることが予想され、また、実験的にも種々の方法で研究されている。そこで本研究では、 α ケージあたり Mn イオンを 0.07 個と 0.21 個含むゼオライト A を用いて Mn クラスターを作成し、その物性を調べた。これらの試料の残りのイオンは Na であるので、 α ケージあたり K 原子吸蔵数 n の試料の化学組成は、それぞれ $K_n/Mn_{0.07}Na_{11.86}Al_{12}Si_{12}O_{48}$ と $K_n/Mn_{0.21}Na_{11.58}Al_{12}Si_{12}O_{48}$ となる。

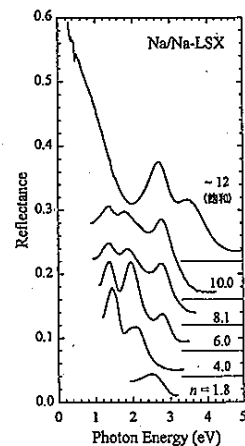
還元には $n=1$ の濃度で K 原子吸蔵を行った。これは Mn^{2+} の還元には十分な量である。光学測定の結果、Mn イオンを含まない場合でも観測される吸収が ~ 1.9 eV, ~ 3.1 eV に見られた。これは K 原子の 4s 電子が Na イオンに移動して形成された Na クラスターによる吸収だと考えられる。これらの強度は Mn イオンを含むと劇的に小さくなった。また、幅の広い吸収が約 4 eV 以上で見られた。おそらく、Mn は過剰な K(Na) と会合クラスターを形成しているのかもしれない。一方、ESR スペクトルの 6 本からなる Mn^{2+} の超微細構造スペクトルは、Mn 濃度が高くなると各線幅が広がった。これは Mn^{2+} による内部磁場の影響だと考えられる。また磁化曲線を解析したところ、還元前に観測される Mn^{2+} の $s=5/2$ の孤立磁気モーメントによる成分が還元後は 1/3 程度に減少し、わずかに $s=1/2$ の成分が現れた。しかし、より大きなスピン状態(強磁性クラスター)は見いだされなかった。残る 1/3 の $s=5/2$ の孤立磁気モーメントが Mn^{2+} によるのか Mn 原子によるのか、現時点では区別できなかった。これらの結果から、少なくともゼオライト A 中では K 吸蔵によって Mn が還元され、その多くは凝集して反強磁性なクラスターを形成していると考えられる。

ゼオライト LSX 中の Na クラスターの光学的磁気的性質

水金貴裕 野末研究室 (物理学専攻)

ゼオライト Low-Silica X (LSX) では、内径約 7 Å の β ケージと、内径約 13 Å のスーパーケージがそれぞれダイヤモンド構造で配列している。陽イオンとして Na と K を含む LSX に K 原子を吸蔵した試料において、N 型のフェリ磁性が発現することが知られている。一方、LSX 中の Na クラスターの研究はほとんど行われていない。本研究では全ての陽イオンが Na の LSX に Na 原子を様々な濃度で吸蔵させて Na クラスターを作成し、光学的・磁気的性質を詳しく調べた。

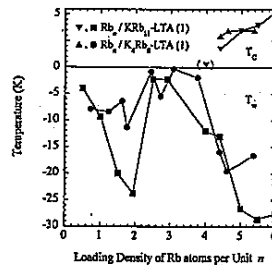
図は種々の Na 吸蔵量における光学反射スペクトルである。 β ケージ当たりの Na の平均吸蔵原子数 (s 電子数) n が 1.8 の試料では、2.5 eV 付近にピークが見られる。これは β ケージ中のクラスターの $1s-1p$ 遷移に相当する。ESR スペクトルには、等間隔な 13 本の超微細構造が観測され、 Na_4^{3+} クラスターが形成されていることがわかった。一方、 $3.0 \leq n \leq 10.0$ の試料では、2.5 eV のピークが消失し、1-3 eV の範囲に大きな振動子強度を持った複数のピークが見られる。これは複数の電子を含む Na クラスターがスーパーケージに形成され、その集団励起である表面プラズモンによるものであると考えた。図示していないが、 $n \leq 10$ の試料は赤外域に絶縁体的な吸収端が見られた。これらの試料の磁化率は非常に小さく、磁気モーメントを持つクラスターは僅かしか存在しない。これはフェリ磁性を示す K クラスターと大きく異なる。K に比べ Na は電子格子相互作用が強いためスピン-重項クラスターが優先的に形成されたからと考えられる。しかし、更に Na を吸蔵した $n=12$ 程度の飽和吸蔵試料では、反射率が近赤外域から低エネルギー側に向かって顕著に増大している。これは試料が金属に転移したことによるプラズマ端と考えられる。また、この試料では ESR にも金属的な振る舞いが見られた。



ゼオライト A 中の Rb-K 合金クラスターの強磁性

山崎祐 野末研究室 (物理学専攻)

ゼオライト A は、 α ケージと β ケージがそれぞれ単純立方構造で配列した LTA 骨格構造を有し、Si/Al 比は 1 である。1 ユニット中の 12 個の陽イオン全てが K^+ のゼオライト A に K を n 個吸蔵させると (K_n/K_{12} -LTA(1) と略記)、 α ケージのみにクラスターが形成され、 n の全濃度 (最大値 7.2) で絶縁体を示す。 $n > 2$ で強磁性的性質を発現する。これは、 $1p$ 準位を占有した s 電子の軌道縮退によって反対称交換相互作用が増強され、反強磁性スピンの大きさが大きくキャントすると解釈されている。一方、 K^+ を Rb^+ に 11 個交換したものに Rb を吸蔵させると (Rb_n/KRb_{11} -LTA(1))、両ケージにクラスターが形成され、 $n > 4$ で強磁性的性質を発現し、同時に金属的性質を示す。この磁性は、非等価な磁気副格子がそれぞれのケージ中に形成されるフェリ磁性モデルで解釈されている。金属的状态は α ケージ中のクラスターによって形成されると考えられる。一方、K を 6.5 個含むものに Rb を吸蔵させた $Rb_n/K_{6.5}Rb_{5.5}$ -LTA(1) では、 Rb_n/KRb_{11} -LTA(1) に似た磁性が観測されるが、詳細は分かっていない。そこで、本研究では K^+ を 4 個含む Rb_n/K_4Rb_8 -LTA(1) を作成して詳しく調べた。光学反射スペクトルでは、 n の増加と共に α ケージ中のクラスターの s 電子の $1s-1p$ 遷移 (1.2 eV 付近) が成長・減衰し、 $1p-1d$ 遷移 (1.6~2.0 eV 付近) が成長した。また、 β ケージ中の s 電子の $1s-1p$ 遷移に相当する 3.0 eV 付近の吸収ピークが $n > 1.0$ で観測された。図に、Arrott-plot から求めたキュリー温度 (\blacktriangle) と、キュリーワイス則から求めたワイス温度 (\bullet) を n に対してプロットした。比較の為に Rb_n/KRb_{11} -LTA(1) の値も載せた。 $n = 4.4$ のキュリー温度は 3.0 K と、 Rb_n/KRb_{11} -LTA(1) の 1.8 K より高い。また、ワイス温度は同様に負の値を示し、共に反強磁性相互作用がベースとなっていることがわかる。このように Rb_n/K_4Rb_8 -LTA(1) の磁性は Rb_n/KRb_{11} -LTA(1) に類似するが、強磁性的性質は若干顕著になった。これは、 α ケージによって形成される $1p$ バンドのエネルギー幅が、K イオンの増加によって若干狭くなり、最終的にフェリ磁性が多少安定化されたためと考えた。



2月10日

多重周回飛行時間型質量分析計のための誘導電荷検出器の開発

香月恒介 質量分析グループ (物理学専攻)

多重周回飛行時間型質量分析計 MULTUM と誘導電荷検出器を組み合わせた、新しい検出手法を開発した。飛行時間型質量分析計の検出部には、MCP (Microchannel Plate) やファラデーカップといった検出器が一般的に用いられている。これらはイオンを電極に直接衝突させて信号を得る検出器であるが、これに対して、間接的にイオンの通過を検出するのが、誘導電荷検出器である。この検出器は、直接衝突ではなく、イオンが導体近傍を通過する際に導体に誘起される電荷から信号を得るため、MCP などと違い、飛行するイオンの軌道には影響を与えない。このため、質量分析計のイオン軌道上に検出器を設置することが可能である。本研究では、誘導電荷検出器を MULTUM の 8 の字型のイオン軌道上に設置することで、飛行するイオンの軌道には影響を与えることなく、周回ごとにイオンの通過を検出することを目指した。

この検出手法のメリットは、イオンの周回に関する情報を得ることができる点である。誘導電荷検出器で得られる信号は電荷量に比例する。その電荷量は通過するイオンの粒子数に対応するので、飛行するイオン群の粒子数を求めることができると考えられる。また、これまで MULTUM では多重周回中にイオンの追い抜きが発生すると、それを判別できないという問題があったが、ここで周回に関する情報を利用できれば、追い抜きを考慮したデータ処理が可能になると考えられる。加えて、これまでの MCP を用いた検出法では質量の大きいイオンの検出感度に問題があったが、誘導電荷型では信号強度が試料イオンの質量に依存しないので、質量の大きいイオンの測定に役立つことが期待される。

検出電極として、アルミ円柱を利用し円筒型の電極を製作した。検出器を MULTUM 内に取り付け、イオン通過信号の検出を試みた。試料として Ag を測定したところ、多重周回するイオンの誘導電荷検出に成功し、約 150 周回分のイオン通過信号が得られた。

イオンの通過信号はパルスの繰り返しとして得られる。このデータからイオン群の周期をもとめ、イオンの m/z を算出するため、自己相関関数を応用した解析手法を開発した。

質量分析法を用いた銀クラスターの解離に関する研究

川村和哉 質量分析グループ (物理学専攻)

原子や分子の集合体であるクラスターの最大の特徴は、その物理的性質や化学的性質がサイズに依存することである。クラスターの性質がサイズに強く依存するのは、クラスターの幾何構造と電子構造がサイズと共に変化するためである。クラスターの性質とその幾何構造、電子構造との関係を研究することは、マクロな物質の性質を決定している要因を解明することに繋がると考えられる。アルカリ金属や貴金属のクラスターでは、価電子をクラスター内で非局在化させて「電子殻」の形成によって安定化させる効果が支配的である。価電子がクラスター内に非局在化している様子は、2つの典型的な正電荷ポテンシャル（調和振動子型ポテンシャルと井戸型ポテンシャル）の中間型、一様なポテンシャル中での価電子の振る舞いとして理解できる。このように近似されたモデルを Jellium モデルという。Jellium モデルのポテンシャルの電子準位を数値的に求めると、とびとびのエネルギー準位構造が得られ、電子が下の準位から詰まっていく際に電子殻が飽和（電子の総数が 2, 8, 18, 20）した時に安定なクラスターであると考えられる。

本研究では、写真の感光過程に関連して多くの研究がなされている銀クラスターおよび臭化銀クラスターに注目し、2台の質量分析計を組み合わせて行うタンデム質量分析法により、これらクラスターイオンの解離の研究を行った。タンデム質量分析法では、様々なサイズのクラスターイオンから特定のサイズのクラスターイオンを選択し、ターゲットガスと衝突させることで解離させ、選択したイオンの解離生成物を観測することができる。その解離パターンと解離生成物の安定性との関係を調べるために、Jellium モデルから予想されるクラスターの安定性との比較を行った。その結果、安定な電子数を有するフラグメントイオンおよび中性フラグメントが主に観測されていることがわかった。また、結合エネルギーとの関係を調べるために熱化学計算との比較も併せて行った。

らせん状のイオン軌道を利用したタンデム飛行時間型質量分析計

”MALDI Spiral TOF/TOF”の性能評価および

リン脂質の構造解析手法の確立

久保歩 質量分析グループ (物理学専攻)

質量分析グループでは、日本電子株式会社との共同研究として、新しい飛行時間型質量分析計(TOF-MS)である”MALDI Spiral TOF/TOF”の性能評価およびアプリケーションの開発を行っている。“MALDI Spiral TOF/TOF”は、一般的な装置の飛行距離が数十 cm であるのに対し、らせん状のイオン軌道を用いることで飛行距離が 17 m と非常に長くなっている。飛行距離の増加による質量分解能の向上により、通常の装置では困難であった 1 u 刻みでのピーク選択が可能となる。タンデム質量分析法と呼ばれる分子の構造解析が精度良く行うことができる。構造解析のために選択されたイオンを衝突室で不活性ガスと衝突させ解離させる。そして、解離生成物の質量を後段に配置したもう一台の TOF-MS を用いて測定することで分子構造の推定を行う。衝突のエネルギーは実験室系で 20 keV と大きいため、イオン内の電荷の位置に関係なく結合の開裂が起こり(CRF; charge remote fragmentation)、試料の詳細な構造まで反映したスペクトルが得られる。

本研究では、“MALDI Spiral TOF/TOF”の性能評価および生体分子の構造解析を行った。特に、細胞膜の主要な成分であるリン脂質の構造解析において、イオンを構成する各元素全てが最小質量の同位体となっているモノアイソトピック質量のイオンを選択し CRF 由来のピークを観測することで、脂肪酸部の不飽和結合の位置まで同定することが可能となり、その解析手法を確立したので報告する。

Y_{1-x}Lu_xMn₂ の電子状態計算

岩崎将 赤井研究室 (物理学専攻)

C15型構造のラーベス相化合物の一種である YMn₂ の電子状態を KKR 法を用いて計算した。この物質はおよそ 100K のネール温度で常磁性状態から反強磁性への相転移が起こることが知られている [1]。しかし、その基底状態での磁気構造は Y.Nakamura らの中性子回折測定によって決定された構造 ((001) 反強磁性、以下(001) 構造) [1]と J.Kübler らの第一原理計算による安定な構造 ((000)反強磁性、以下(000) 構造) が一致しない [2]。

また Y サイトに Lu をドーピングした系に興味をもたれており、Y の同族原子である Lu は構造を大きく歪ませないにもかかわらず、臨界ドーピング量を超えると相転移が見られなくなるという [3]。

そこで今回、(001) 構造と(000) 構造を仮定し、それぞれに Lu をドーピングしていくことで格子定数や磁性がどう変化するかを調べ、ネール温度 T_N のオーダーを見積もった。それぞれの反強磁性体に Lu をドーピングしていった結果、格子定数は両構造ともドーピングとともにわずかに増加し、10%のドーピングでその変化率は 0.1%未満であった。実験では格子定数が小さくなるといわれるが [3]、その変化率は計算同様わずかである。

YMn₂ のネール温度 T_N は(001) 構造では約 180K となり、(000)構造では約 360K と見積もられ、ドーピングによる変化は見られない。

[1] Y. Nakamura and M. Shiga, Physica B 120 (1983) 212.

[2] J. Kübler, L. M. Sandratskii and M. Uhl J. Magn. Magn. Mat. 104-107 (1992) 695

[3] I. Yu. Gaïdukova, I. S. Dubenko, R. Z. Levitin, A. S. Markosyan, and A. N. Pirogov, Sov. Phys. JETP 67 (1988) 2522.

KKR グリーン関数法による光学伝導度の第一原理計算

斎藤涼介 赤井研究室 (物理学専攻)

近年、電気伝導に代表されるような輸送現象を第一原理計算によって定量的に評価する試みが積極的に行われている。本研究では、種々の輸送係数を線形応答理論に基づいて第一原理で評価する試みの一環として光応答への応用を考える。具体的には、物質の光吸収率の計算を、密度汎関数法に基づく KKR グリーン関数法に久保-Greenwood 公式を組み合わせることにより実現する。

光吸収に伴う状態遷移確率をフェルミの黄金律を用いて書き下すと、伝導度テンソルの対角成分の実部がこれに対応していることがわかる (光学伝導)。線形応答理論により、伝導度テンソルの対角成分は以下のようにグリーン関数 G の虚部を用いて表わされる。 $\sigma_{\mu\mu} \propto \text{Tr} \langle j_{\mu} \text{Im} G j_{\mu} \text{Im} G \rangle$

ここで j_{μ} は μ 方向のカレント演算子である。KKR グリーン関数法ではグリーン関数を固有値問題をせずに直接計算する。また、 $\langle \rangle$ は配位平均を取ることを意味するが、KKR 法では CPA を導入することで配位平均を効率よく扱うことができる。KKR-CPA 法を用いた電気伝導度テンソルの計算は Butler によって提案されており、本研究ではこの手法を光学伝導に拡張した。開発したプログラムを用いて実際に様々な系について光学伝導度を計算し、計算手法の有効性と問題点について評価する。

Screened-KKR 法による伝導率計算

永田徹哉 赤井研究室 (物理学専攻)

多層膜構造を持った大規模系に、密度汎関数理論に基づく第一原理電子状態計算を適用する際の有効な手段として、Screened-KKR 法を用いた高速な伝導率の計算手法を開発した。

自由空間を参照系にとる通常の KKR 法(グリーン関数法)を用いた方法では、単位格子あたり原子数 N の 3 乗に比例したオーダー N^3 の計算コストが必要となる。それに対し Screened-KKR 法とは、実空間でグリーン関数が指数関数的に減衰するような系を参照系に選ぶ方法で、多層膜系に対して適用すると計算精度を保ったまま計算コストを原子数 N に比例する程度に抑えられるオーダー N 法が実現し、大規模な系の電子状態計算が可能となる。

また、KKR 法による電子状態計算の実装において、計算の過程でグリーン関数を求めて電子状態を計算しているため、線形応答理論に基づく定式化によりグリーン関数から直接伝導率を計算することができる。

本研究ではこれらの Screened-KKR 法と線形応答理論を組み合わせる手法を採用し、多層膜の電気伝導率をオーダー N^2 の計算量で高速に計算する手法の開発と実装を行った。

Curvature of Ground State Energy in Disordered System with Density Functional Theory

Yosuke Harashima Akai Group (Department of Physics)

Electronic structure calculations exploit crystal symmetry. But in real materials this symmetry is broken by impurities, defects, and so on. They introduce randomness into the system. In this case, electronic states may be localized and the system can become an insulator. This phenomenon is called Anderson localization.

In 1972, J. T. Edwards and D. J. Thouless showed that the sensitivity of energy to boundary conditions can be a measure of localization. If the electrons are localized, the wave functions decay exponentially and the energies of these electrons are less sensitive to boundary conditions. But if the wave functions are extended, boundary conditions affect the energies strongly. In 1997, Braun *et al*, investigated the relationship between the level curvature with respect to Aharonov-Bohm flux (which is related to changing boundary conditions) and the conductance in non-interacting disordered systems.

We propose a new model for disordered interacting systems and use Density Functional Theory to investigate the relationship between the curvature and Anderson localization in disordered interacting systems.

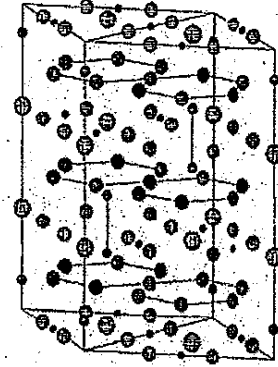
永久磁石 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ の第一原理計算

増山綾香 赤井研究室 (物理学専攻)

永久磁石の一つである $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ は $\text{Th}_2\text{Zn}_{17}$ 型の結晶構造をとり(図1)、最も強い永久磁石とされる $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ に次ぐ性能を持つことで注目されている。永久磁石に必要な高い磁気異方性及び大きな磁化を保持するためには、軽希土類を成分のひとつとして含む必要があると考えられている。近年、永久磁石の需要は高まる一方で軽希土類の資源の多くを輸入に頼っている日本では、軽希土類から身近な元素への代替のための研究(元素戦略)が進められている。

元素戦略のような「求める物性を有する新しい物質の設計」においては、第一原理電子状態計算に基づく計算機マテリアルデザインが有効である。まず、そのような物性を持つ既存の物質に対して電子状態を計算し、機能発現のメカニズムを理解することが重要である。本研究では、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ 中の窒素の磁性への役割を理解することを目的に、窒素の濃度を変えて ($\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ において $0 \leq x \leq 3$)、電子状態を計算した。計算は、密度汎関数理論に基づく Korringa-Kohn-Rostoker (KKR) グリーン関数法を用いて行った。KKR 法は coherent potential 近似(CPA)を組み合わせたことによつて、合金や混晶系を取り扱うことができる。

得られた結果をもとに磁気モーメントや磁気異方性を評価し、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ での窒素の役割について議論する。



$\text{N}(9z)$, $\text{Fe}(9d)$, $\text{Fe}(18h)$, $\text{Fe}(18f)$, $\text{Fe}(6c)$, $\text{Sm}(6c)$

図1 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_3$ の結晶構造^[1]

[1] L. Steinbeck, M. Lichter, U. Nitzsche, and H. Eschrig, Phys. Rev. B, 53, 7111 (1996)

擬二次元三角格子反強磁性体 CuCrO_2 の強磁場多周波 ESR

大伴紗世 萩原研究室 (物理学専攻)

CuCrO_2 は Cr^{3+} (スピン量子数 $S=3/2$) のハイゼンベルグスピンの三角格子を形成する物質であり、デラフォサイト構造と呼ばれる菱面体の結晶構造を有している。同じ結晶構造を持つ CuFeO_2 (Fe^{3+} , $S=5/2$) は幾何学的フラストレーションを有する系として盛んに研究されてきた。両者を比較すると、 CuCrO_2 の基底状態が、 120° スピン構造になることが分かっているのに対し、 CuFeO_2 の基底状態は4副格子のコリニアな磁気構造となり、同じハイゼンベルグスピンの持つにも関わらず磁気構造は大きく異なっている。近年 CuFeO_2 において、 $7\text{ T} < H < 13\text{ T}$ の不整合相で強誘電性が発見され、 CuCrO_2 でも同様に電気磁気効果が存在することが分かっている。巨大電気磁気効果はペロブスカイト構造を持つ TbMnO_3 で最初に観測され、分極の発現に関してはスピナレントモデルによって説明されている。しかし CuFeO_2 や CuCrO_2 はこのモデルでは説明できず、面内強誘電性のメカニズムを知るために、これらの化合物の磁気構造に関する知見を得ることが重要であると考えられる。そこで、化合物 CuCrO_2 について磁気構造の知見を得ることを目的に本研究を行った。

CuCrO_2 は粉末中性子回折実験の結果より、 c 軸方向を容易軸とし、 c 軸を含む面内で 120° スピン構造をとる事が報告されている。しかし、 CuCrO_2 は物性測定が可能な大きさの単結晶の作成が難しかったため、これまでに単結晶を用いた精度の高い測定が行われてこなかった。今回基礎工学部の木村研究室より、 CuCrO_2 の単結晶試料を提供して頂くことができたので、強磁場 ESR・磁化測定を行い、異方性定数や相互作用定数の大きさを見積もった。 c 軸に容易軸が存在する容易軸異方性モデルでの解析を磁化、ESR について行ったので、その結果を報告する。

高圧下強磁場磁気測定装置の開発と Co 酸化物の物性研究

松永崇弘 萩原研究室 (物理学専攻)

本研究では高圧下強磁場磁気測定装置の開発と、Co 酸化物 $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3.5}$ の高圧下物性研究を行った。研究対象のペロブスカイト型 Co 酸化物 $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3.5}$ は $x=0.20\sim 0.25$ という狭い範囲においてのみ 335 K 近傍で一次転移を伴う強磁性転移を起こす。この強磁性は Sr または Y のある A サイトの秩序が Co イオンを 3 価にするような秩序化した酸素欠損を引き起こし、それにより Co が軌道秩序することで生じると考えられている。 $x=0.25$ の試料では強磁性転移を起こした後 200 K あたりで磁化の最大値をとり、低温に向って磁化が減少していく。一方、 $x=0.22$ の試料は強磁性転移を起こした後、低温でもあまり磁化の大きさが変わらない。ペロブスカイト型 Co 酸化物の磁性は、Co のスピン状態と強く関係しており、低スピン、中間スピン、高スピンの三つのスピン状態が可能であり、この三つの状態はエネルギー的にほぼ縮退していて Co と O の結合の角度や Co を囲む O 八面体の体積や結晶場などの僅かな変化によって容易に変化する。よって、 $\text{Sr}_{1-x}\text{Y}_x\text{CoO}_{3.5}$ においても化学圧力及び物理圧力によって物性の変化が観測されると考えられる。実際、Sr に Ca を置換していくことで磁化が抑えられていくことが報告されている。前田らによる昨年度の研究では、主に $x=0.25$ の試料に注目し、強磁場下の磁化及び ESR 測定を行い、磁化過程に低スピン-高スピン間のスピントロニック転移を観測した[1]。本研究では Ca 置換による化学圧力に対して最も敏感である $x=0.22$ の試料に注目し、Ca 置換による化学圧力と組成を変えずに体積を変化させることができる物理圧力とを比較し、両者に違いが生じるのかどうかを詳しく調べた。具体的には $\text{Sr}_{0.78}\text{Y}_{0.22}\text{CoO}_{3.5}$ の磁性の変化に関する知見を得るために圧力下での磁化測定を行った。発表ではこれらの実験結果の詳細と dT/dP を用いたエントロピー変化の解析結果などについて報告する。装置開発については時間の都合上、少しだけ述べるにとどめ多くは割愛する。

111 前田洋子 平成 19 年度修士論文

YbCu₂Ge₂ の純良単結晶育成とフェルミ面の性質

石倉達朗 大貫研究室 (物理学専攻)

Yb は価数が増える価数遷移を起こすことで知られており、 $4f^{13}5d^16s^2$ の電子配置を持つ Yb^{3+} の状態と、 $4f^{14}6s^2$ の電子配置を持つ Yb^{2+} の状態が存在する。基底状態において、 Yb^{3+} では $4f$ 電子が局在し磁性体であり、ある場合には近藤効果により $4f$ 電子が遍歴する重い電子系となる。 Yb^{2+} では $4f$ 電子は全く磁性及びフェルミ面に寄与しない。つまり、電子状態について考えると、 $4f$ 電子が遍歴する重い電子系の状態と Yb^{2+} の状態では価電子の数が一緒であるためフェルミ面は似た形状になると考えられる。

最近、大貫研究室博士後期課程の Nguyen Duc DUNG 氏により、 YbCu_2Si_2 の純良単結晶によるドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果測定から電子状態が明らかにされ、 $4f$ 電子が重い電子となり遍歴していることが分かった。これに対して、Si を Ge で置換した同じ結晶構造である YbCu_2Ge_2 は Yb^{2+} の非磁性体と報告されているが、単結晶による報告がなくほとんど研究されていない。そこで YbCu_2Ge_2 の純良単結晶による物性測定及び dHvA 効果測定を行い YbCu_2Si_2 と比較することにより、Si と Ge の違いによる電子状態の違い、つまり $4f$ 電子が遍歴する重い電子系の状態と Yb^{2+} の状態の違いが与える物理量及び電子状態の違いを解明することを目的として、基礎物性測定及び dHvA 効果測定を行った。

単結晶育成は Sn フラックス法により行い、RRR = 50 の純良単結晶育成に成功した。基礎物性測定の結果、 YbCu_2Ge_2 はパウリ常磁性体で Yb^{2+} であることが分かり、また dHvA 効果測定の結果、 YbCu_2Ge_2 は Yb^{2+} のモデルに非常によく一致した。 YbCu_2Si_2 との比較を行うと、 YbCu_2Si_2 では $4f$ 電子がフェルミ面に寄与し重い電子系となるが、 YbCu_2Ge_2 では $4f$ 電子はフェルミ面に寄与せず $4f$ 混成バンドはフェルミエネルギー以下に位置し Yb^{2+} となっていることが分かった。

CeAu₂Si₂ の単結晶育成と電子状態

太田有基 大貫研究室 (物理学専攻)

希土類化合物RT₂X₂(R:希土類,T:遷移金属,X:Si,Ge)は、ほとんどがThCr₂Si₂型結晶構造を持ち、磁気秩序や重い電子系、価数揺動、異方的超伝導といった多様な物性示す。しかし、多くの実験は多結晶や純良度の低い単結晶を用いて行われてきた。

CeAu₂Si₂ についても過去の研究報告では試料の純良度が低く、磁性の試料依存性が大きい。ネール温度についてはこれまでに、多結晶で10.1K~6.6K、単結晶で8.8K~4K という報告がある。

本研究では、日本原子力機構のT. D. Matsuda 氏が、UCu₂Si₂ の純良単結晶の育成に用いたSn-flux法をCeAu₂Si₂ の場合に適用して単結晶育成を育成した。その単結晶で電気抵抗率、比熱、磁化率、強磁場磁化、dHvA 効果の測定を行った。いくつかの単結晶が得られ、ネール温度の試料依存性はほとんど見られなかった。電気抵抗率測定より見積もった残留抵抗比はRRR=50(J//[001])であり、過去の報告に比べ純良度は高い。CeAu₂Si₂はT_N以下でAF-Iの磁気構造をとることが報告されているが、今回育成した単結晶試料での測定により、AF-Iの反強磁性相と常磁性相の間に新たな磁気秩序相が存在することが明らかになった。比熱測定から電子比熱係数γは11mJ/K²molと見積もられ、磁気エントロピーはT_NでRlog2の89%に達した。逆磁化率と磁化について、過去に非弾性中性子散乱により報告されているエネルギー準位に基づいて結晶場計算による解析を行った。実験結果と計算は良く合っており、磁化率の異方性は主に結晶場の影響によるものだと分かった。dHvA 効果測定で観測されたブランチの角度依存性はYC₂Si₂のものに対応がみられた。このことから、CeAu₂Si₂の4f電子が局在しており、フェルミ面の大きさに寄与していないことが明らかになった。

2次元電子系 LaFePO と LaRuPO の

ドハース・ファンアルフェン効果とフェルミ面の性質

土井裕介 大貫研究室 (物理学専攻)

昨年、東京工業大学の細野秀雄教授のグループによって超伝導転移温度T_c=26KのFeを含む新型超伝導体LaFeAsO_{1-x}F_xが発見された。この発見を受け、我が国はもとより中国やアメリカなど世界中で競争が起こり、同じ系列の物質NdFeAsO_{1-x}F_xやGdFeAsO_{1-x}F_xが50Kを超える温度で超伝導を示すことが明らかにされた。Feを含む新型超伝導体LaFeAsO_{1-x}F_xのものと化合物LaFeAsOはLaO層とFeAs層が積み重なって構成されているZrCuSiAsタイプの結晶構造を持っている。Feを含む新型超伝導体の性質を明らかにするために、LaFeAs(O_{1-x}F_x)と同じ結晶構造を持つLaTPO(T=Fe, Ru)の電子状態を調べることは有意義であると考え、ドハース・ファンアルフェン効果によってフェルミ面の性質を解明することを研究目的とした。

本研究ではSnフラックス法を用いて、純良な単結晶LaTPO(T=Fe, Ru)を育成した。残留抵抗比RRRが約30の純良な単結晶が得られた。しかし、LaTPO(T=Fe, Ru)の単結晶は0.5×0.5×0.05mm³の大きさなので、従来のピックアップコイルを使ったドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果の測定では感度が不十分である。そこで、ごく最近研究室で開発した微小な単結晶試料でも測定が可能なカンチレバーを使ったdHvA効果の測定を行った。その結果、多数のdHvAブランチが観測された。基本的には4種類の凹凸のあるシリンダー状フェルミ面(2種類は電子フェルミ面、他の2種類は正孔フェルミ面)が明らかにされた。ただし、LaFePOではサイクロトロン質量が約2m₀(m₀:電子の静止質量)と比較的軽い2種類の電子フェルミ面しか観測できなかった。LaRuPOではすべて1m₀以下で軽く、そのため全てのフェルミ面が観測できた。

RPt₂Ge₂(R:希土類)と RPd₅Al₂の単結晶育成と電子状態の研究

中野泰典 大貫研究室 (物理学専攻)

本研究は、2007年に発見された重い電子系超伝導体である NpPd₅Al₂を研究背景としている。NpPd₅Al₂は、他の多くの Np 化合物が磁気秩序するのに反し、5K で超伝導転移する。また電気抵抗の振る舞いは 10K 以下で T の一乗に従って減少するなど非フェルミ液体的な物性が観測されている。これは 同様の振る舞いを示す CeCoIn₅と同様に、NpPd₅Al₂は量子臨界点の近傍に存在する物質で、重い電子系が完全に形成される前の状態で超伝導転移している可能性を示している。また NpPd₅Al₂の結晶構造は上に挙げた CeCoIn₅と類似しており、CeCoIn₅と同様に準二次元的な電子状態を形成していることが期待される。

これらの報告を元に、Np をより局在性の強い Ce で置換することで、圧力誘起超伝導や準二次元的な電子状態を反映したシリンダー状のフェルミ面の観測を期待して、CePd₅Al₂の単結晶育成を行い、物性測定を行った。また参照物質として用いるために PrPd₅Al₂、YPd₅Al₂の単結晶も育成し、物性測定を行った。得られた単結晶はいずれも正方晶[001](c 軸)方向に非常に薄く、電気抵抗も電流方向によって異方性が見られた。これらは RPd₅Al₂の層状の結晶構造を反映し、準二次元的な電子状態を示唆するものと考えられる。また磁気的性質では、磁化率および、磁化測定から RPd₅Al₂は低温で大きな異方性を持つことがわかった。CePd₅Al₂の磁化測定では、[001]方向に磁化容易的な振る舞いが見られたが、この振る舞いは結晶場計算により再現でき、また測定結果から得られた磁気相図は非常に複雑であることから、CePd₅Al₂は磁気モーメントが[001]方向を向いているような単純な磁気構造ではないことがわかった。またドハース-ファンアルフェン効果測定の結果、CePd₅Al₂、PrPd₅Al₂に共通する二つのブランチが観測され、バンド計算との比較からこの二つのブランチがシリンダー状フェルミ面の寄与であることがわかった。また CePd₅Al₂は 9GPa の圧力下で超伝導転移を示した。なお、RPt₂Ge₂の単結晶も育成し、電子状態の研究を行った。

結晶反転対称性のない RCoGe₃(R:希土類)の 純良単結晶育成と電子状態の研究

村中大志 大貫研究室 (物理学専攻)

結晶構造に空間反転対称性がない場合、結晶内のポテンシャルに勾配ができ、それによって生じる有効電場によって結晶内を運動する伝導電子に反対称スピン・軌道相互作用が働く。その結果、伝導電子のスピン縮退が解けてバンド構造は約 10~1000 K 離れて分裂する。このときフェルミ面はスピンの向きによって大きさの異なる 2 つのフェルミ面に分裂する。分裂したフェルミ面でのクーパ対形成を考えると、分裂の大きさは約 10~1000 K と超伝導転移温度約 1K に比べてはるかに大きいため、それぞれのフェルミ面に属する 2 つの電子がクーパ対を形成することになる。このクーパ対はスピンの量子化軸を z 軸に取り直すとスピントリプレットの成分に対応しており、そのためスピンスングレットとスピントリプレットが混在した超伝導が実現していると考えられる。こうした結晶構造に反転対称性を持たない系の超伝導の研究は現在盛んに行われており、反転対称性のない BaNiSn₃型の結晶構造を有する CeRhSi₃や CeIrSi₃、CeCoGe₃において圧力下超伝導が発見されている。

そこで、本研究では BaNiSn₃型の結晶構造を持つ化合物 RCoGe₃(R: La, Ce, Pr, Nd)に注目し、反対称スピン・軌道相互作用について実験的観点から調べることを目的とした。Bi を用いたフラックス法で純良単結晶育成を行い、その純良な単結晶試料を用いてドハース・ファンアルフェン(dHvA)効果測定を行い、その結果から反対称スピン・軌道相互作用の大きさを見積もった。dHvA 効果は反対称スピン・軌道相互作用によって分裂したフェルミ面を実験的に観測するのに非常に有効な実験手段である。過去に行われた LaCoGe₃の dHvA 効果測定の結果をもとに、希土類 R が変化したときに反対称スピン・軌道相互作用の大きさやフェルミ面のトポロジーがどのように変化するかを調べた。また、PrCoGe₃と NdCoGe₃については今回初めて単結晶育成に成功し、電気抵抗、比熱、磁化・磁化率測定を行った。得られた測定結果から結晶場計算を行い、その基底状態を明らかにした。

光学格子中の超流動 Fermi 原子気体に対する

トラップポテンシャルの効果

慶應義塾大学大学院基礎理工学専攻 理論研究室 (物理学専修)

玉谷知裕

1995年、コロラド大学のグループがヘリウム以外の中性原子をはじめて Bose-Einstein 凝縮させることに成功した。次いで 2004年には Fermi 原子(K, Li)の超流動化にも成功した。更に 2006年には、光学格子がレーザーの定在波により作られ、人工結晶中での Fermi 原子気体の超流動化も報告されている。この系は固体中の電子の振る舞いを調べるのに非常に有効であり、高温超伝導のような複雑な多体系の物理現象をより明らかにできるのではないかと期待されている。

以上の状況を踏まえ、本研究では、光学格子中にトラップされた超流動 Fermi 原子気体を解析することにする。具体的には光学格子の効果を取り入れるために Hubbard 模型を用い、これにトラップポテンシャルの効果を付与する。そして、その際に現れる引力相互作用の強さと全原子数をパラメーターとして取り扱い、秩序パラメーター、原子数分布、及び化学ポテンシャルを自己無撞着に決定する。系の次元としては 1次元及び 2次元の場合を扱う。その結果、1次元及び 2次元系に双方において、全原子数が十分多いとき、トラップポテンシャルの中心付近に秩序パラメーターが 0 の領域が生じ、その周囲には Fermi 原子が超流動化したために生じる秩序パラメーターのピークが存在することがわかった。特に 1次元系では、相互作用が弱いときにこれらのピークは分裂するが、2次元系との対応からこの分裂は 1次元系の状態密度に起因していることが確認できた。また、1次元、2次元系それぞれの場合について相互作用の強さに対する化学ポテンシャルの変化を調べ、Cooper 対が強く結合して Bose 粒子として振舞う領域を明らかにした。

* 判定会議は 2月 10日 16:00 より H701 で開催されます。

宇宙地球グループ

会場 F202

In-situ micro-FTIR study of dehydration behavior of muscovite 高温顕微赤外その場分光法による白雲母脱水挙動

常盤井和代 中嶋研究室 (宇宙地球科学専攻)

含水鉱物からの脱水は地球内部の動的過程を支配する素過程の一つである。本研究では、含水鉱物の中で最も単純なモデル鉱物である白雲母を用いて、その中に含まれる OH の高温での物理化学状態と脱水挙動を高温顕微赤外分光法により調べた。

白雲母の脱水挙動は、従来粉体状態での X 線回折法や熱重量測定等から間接的に調べられてきたが、脱水機構については様々なモデルがあるものの解明されていない。また直接 OH の脱水挙動をその場観測した例はない。そこで本研究では、高温顕微赤外分光法を用い、白雲母薄片中の OH の減少をその場観測した。760-860°C における OH 吸収帯面積の等温での時間変化を、様々な反応モデルで解析したところ、1次元拡散モデルで最も良く再現された。このモデルから求めた拡散係数の温度変化から得られた活性化エネルギーは 290 ± 20 kJ/mol となり、過去の文献と調和的であった。これより、白雲母の脱水は c 軸方向に OH が抜ける 1次元拡散が律速していると考えられる。

岩石の浸透率に対する溶液組成の影響

中島 崇 中嶋研究室 (宇宙地球科学専攻)

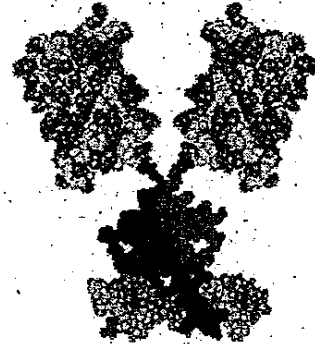
地質媒体の浸透率は、火山噴火・資源集積・環境汚染など、地球の表層・内部における物質輸送過程を支配する重要な物性値である。実験室での浸透率の測定には、純水が用いられることが多い。しかし、実際の地球環境において流れる水には様々なイオンが溶存し、溶液組成は多様である。従来の研究では、間隙率や粒子径と浸透率との関係に着目していることが多く、溶液組成と浸透率との関係はよく分かっていない。そこで本研究では、溶液組成が浸透率に及ぼす影響を調べた。試料には、ほぼ 100% 石英から成るフォンテーヌブロー砂岩 (全間隙率 10%) を用いた。定水位透水試験装置を開発して、試料を通過する水の流速から浸透率を算出した。純水の浸透率は 8×10^{-14} m² であり、同じ産地・間隙率の岩石に対して測定された文献値とよく一致した。純水との比較のために、海水 (主要成分: NaCl ~ 0.5 mol/L) と HCO₃⁻ に富む地下水の組成を考慮して、NaCl と NaHCO₃ の濃度を変化させた実験を行った。その結果、NaCl 濃度が 0.005, 0.05, 0.5 mol/L の水溶液の浸透率は、それぞれ 8×10^{-14} , 7.5×10^{-14} , 6.5×10^{-14} m² であり、濃度増加とともに値が減少した。また、NaHCO₃ 濃度が 0.005, 0.05, 0.5 mol/L の水溶液の浸透率は、それぞれ 6.5×10^{-14} , 5.8×10^{-14} , 4.2×10^{-14} m² であり、同じ Na 濃度の場合には NaCl よりも NaHCO₃ の方が浸透率の減少割合が大きかった。これらのことから、浸透率は溶液組成によって変化し、その変化率は溶存イオン種によって異なることが明らかになった。

DNA 結合タンパク質の塩基配列認識機構の解析

長谷川浩二 中嶋研究室 (宇宙地球科学専攻)

DNA 結合タンパク質である HEB タンパク質は、DNA の E-box 配列(CACCTG)を認識し、配列特異的に結合することでその機能を果たす。この HEB タンパク質の塩基配列認識の分子機構を明らかにするために、緑色蛍光タンパク質(GFP)との融合タンパク質 HEB-GFP を作製した。

まず、分子生物学的な解析により、HEB-GFP と DNA の複合体の形成反応の特徴を調べ、FRET(蛍光共鳴エネルギー移動)を利用した複合体形成反応の解析システムを構築した。そのシステムを用いることで、DNA が E-box 配列を持つ場合と持たない場合について、HEB-GFP との複合体形成反応のパラメーターを高い信頼度で求めるとともに、その際に生じる構造変化を推定した。次に、E-box 配列認識に重要な働きをするとされる HEB の塩基性領域にあるグルタミン酸(Eb9)をグルタミン、アスパラギン酸、グリシンにそれぞれ置換した部位特異的変異タンパク質を作成し、HEB-GFP と同様の解析を行った。それぞれの変異タンパク質について得られたパラメーターを比較した結果、いずれの変異体も HEB-GFP と異なる性質を持っていることがわかった。このことから、本研究により新しい性質を持つ生体ナノマシンが創製されたことが示唆された。



Ordering of the Pyrochlore Heisenberg Antiferromagnet with the Ferromagnetic Next-Nearest-Neighbor Interaction

Nguyen Trung Hai 川村研究室 (宇宙地球科学専攻)

Due to severe geometrical frustration, the classical Heisenberg spins on the pyrochlore lattice with the nearest-neighbor antiferromagnetic interaction have infinitely degenerate ground states and exhibit no magnetic long-range order at any temperature^[1]. However, this degeneracy might be lifted by the weak perturbation e.g., the further-neighbor interaction, the dipolar interaction, the magnetic anisotropy, the quenched randomness or the lattice distortion.

Our interest is on the effects of a weak ferromagnetic coupling (as a weak perturbation) between the next-nearest-neighbor spins on the pyrochlore Heisenberg antiferromagnet. The studied model can be described by the Hamiltonian^[2]:

$$H = -J_1 \sum_{\langle i,j \rangle} S_i S_j - J_2 \sum_{\langle\langle k,l \rangle\rangle} S_k S_l, \text{ where } J_1 < 0 \text{ is the antiferromagnetic nearest-}$$

neighbor interaction and $J_2 > 0$ the ferromagnetic next-nearest-neighbor interaction. Following up Tsuneishi *et al.*'s study, which revealed a very peculiar feature of the low-temperature ordered phase^[2] of this model, we have performed extensive Monte Carlo simulations to gain further insight into the ordering nature of this model. We have applied three kinds of boundary conditions (BC): periodic BC, free BC and fluctuating BC. We have found that the ordering behavior of this model turns out to be very sensitive to the choice of BCs. The striking dependence of the ordering behavior on the choice of BCs is the most remarkable feature exhibited by this model.

[1] J. N. Reimers *et al.*: PRB 43 (1991) 865, PRB 45 (1992) 7287

[2] D. Tsuneishi *et al.*: J. Phys.: Condens. Matter 19 (2007) 145273

速度・状態依存摩擦構成則を用いた バネ-ブロックモデルによる地震のシミュレーション

森本祥司 川村研究室 (宇宙地球科学専攻)

地震はプレート運動によって駆動された断層の示す固着-滑り不安定現象であり、断層面の摩擦法則に大きく依存すると考えられる。近年の地震研究では、断層面に働く摩擦が速度だけでなく摩擦面の状態にも依存するとする速度・状態依存摩擦構成則が広く用いられている。我々のグループでは、1次元のバネ-ブロックモデルに速度・状態依存摩擦構成則を用いて、地震のシミュレーションを行っている。

以前の研究により、このモデルの統計的諸性質が調べられており、固有地震的な振舞いを示すことが知られていた。特に大地震の局所的な再来時間分布において、ブロードなピークと鋭いピークの2つのピークが存在し、地震の周期性に関して興味深い結果が得られていた。本研究では、この2つのピークの性格を解析することにより、その起源を明らかにするとともに、このモデルには性格の異なる2つのタイプの地震が存在することを見出した。それらの統計的性質について報告したい。

また一方で、地震発生の初期段階においてゆっくりとした破壊が進行する「破壊核形成過程」と呼ばれる振舞いが存在すると考えられており、地震予知の観点から注目されている。本研究ではバネ-ブロックモデルにおいて破壊核形成過程を再現することに成功した。そのいくつかの性質について調べたので報告したい。

2次元3角格子反強磁性ハイゼンベルグモデル のボルテックス秩序化

山本 敦志 川村研究室 (宇宙地球科学専攻)

近年、物性・統計物理の分野で「フラストレーション」という概念が注目されている。フラストレーション系特に磁性の分野で、2次元3角格子最近接反強磁性ハイゼンベルグモデルは理論的に基本的なモデルの1つである。今回、このモデルに対し今までよりも大規模な計算機シミュレーションを行い、 Z_2 ボルテックス転移についての研究を行った。古典スピンの場合、このモデルは 120° 構造が基底状態であることが確定しているが、その秩序化現象に対する理論として、川村、宮下らによりスピンの 120° 構造が作る Z_2 ボルテックス(渦)の解離に伴うKosterlitz Thouless 転移に似たトポロジカルな相転移を起させることが提案されているが、その転移の存在の有無についても未だ議論がある。この理論では、ボルテックス転移点で比熱が発散しない、スピン相関長が有限であること等が主張されている。今回、このモデルに対し今までよりも大規模な計算機シミュレーションを行い、 Z_2 ボルテックス転移についての研究を行った。特にボルテックス転移温度を今までより精度よく推定した。また、有限サイズのデータをもとにスケール解析を併用して無限系でのスピン相関長を求めた。

Ising モデルを用いた界面系の熱輸送

原野和也 川村研究室 (宇宙地球科学専攻)

熱伝導に関する物理の研究は古く、19世紀の初めには Fourier によって熱伝導方程式とそれを解くための手法は確立されていた。熱伝導方程式は、熱流 J が温度勾配 ∇T に比例するという Fourier 則を仮定して導かれる。熱伝導方程式はマクロな系ではよく成り立つ現象論であるが、ミクロな機構からの完全な理論的説明は無く、非平衡統計力学の基本的な問題として、現在でも精力的に研究がなされている。

また、界面の構造や運動も非平衡系の問題としてよく取り扱われる。例えば、熱ダイオード [1] や熱音響 [2] のような現象がそうである。このような、定常熱流下における界面の非平衡問題をミクロなモデル設定から解明しようとするのが、本研究の主な目的である。

界面系熱伝導の研究として、粒子系や離散モデルを用いた数値計算がある。前者の例として、文献 [3] がある。連続モデルで非平衡系の問題を取り扱う際には、緩和時間とシステムサイズの問題から計算時間に困難を伴うことが多い。そこで、今回は主に二次元 Ising モデルという離散的なモデルで熱伝導の数値計算を行った。

先行研究として、文献 [4] があり、これは界面の無い二次元 Ising モデルを使って相転移近傍の熱伝導に発散や消失の異常が無いことを調べた論文である。ここで用いられたモデルに界面を入れて数値計算を行った。その結果、界面のある系では、界面のない系に比べて熱伝導率が上昇した。これは、二次元系で界面揺らぎが大きくなっている事が起因している。また、この界面の運動を詳細に調べた結果、界面位置が高温側に偏ることが分かった。さらに、界面の運動方程式を Langevin 方程式によって現象論的に書き下して、時系列解析を行った。その結果、高温側では界面の滞在時間が短いことが判明した。さらに、モデルを三次元に拡張した計算も行い、二次元系の結果と比較した。

今回の発表では、上で述べた事の詳細について述べる。

[1] B. Li, L. Wang and G. Casati, Phys. Rev. Lett., **93**, 194301, (2004).

[2] N. Rott, Adv. Appl. Mech., **20**, 135, (1980).

[3] F. Ogushi, S. Yukawa and N. Ito, J. Phys. Soc. Jpn., **74**, 827, (2006).

[4] K. Saito, S. Takesue and S. Miyashita, Phys. Rev. E, **59**, 2783, (1999).

反磁性異方性の高感度測定法と

ウルツ鉱型酸化物における反磁性異方性の起源

加納 俊 松田研究室 (宇宙地球科学専攻)

無機酸化物において、その反磁性磁化率の異方性は値が小さく、正確な測定が困難である。近年、反磁性試料を定常磁場中で回転振動させ、その周期を測定する方法で様々な物質の反磁性異方性 $\Delta\chi$ が検出された。

今回、反磁性異方性の測定感度を向上させる目的で、2つの実験を進めた。1つ目の方法として、磁場強度を従来の 1.6 T から 5.0 T に増加させた。2つ目の方法として、これまで感度の上限となっていた試料の吊り糸そのものを排除するため、試料を微小重力中に浮遊させて実験を行った。また、試料を安定浮遊させる目的で、従来よりも磁場勾配の少ない永久磁石を導入した。これらの測定法の感度は新たに設計開発した標準試料で確認し、ともに 10^{-10} emu/g レベルの高感度測定に成功した。

酸化亜鉛は高対称なウルツ鉱型の結晶構造をもつため $\Delta\chi$ が小さいと予想される。今回、この酸化亜鉛の $\Delta\chi$ を上記 2つの方法を用いて新たに決定した。得られた $\Delta\chi$ は先に報告された氷 1h の結果と同様従来の化学結合に基づくモデルに矛盾した。氷 1h も ZnO と同じウルツ鉱型の反磁性体である。そこで伝導電子によるランダウ反磁性が異方性を生じている可能性について、定量的に考察を行った。

コンドライト隕石の化学残渣に含まれる希ガスの同位体比分析

佐部友希恵 松田研究室 (宇宙地球科学専攻)

Ar, Kr, Xe に富む隕石中の希ガスの大部分は、隕石粉末を酸処理して得られる化学残渣に含まれることが知られる。その残渣を酸化分解すると放出される希ガスを“Q ガス”、担体を“phase Q”と呼ぶ。phase Q の化学的特徴についてはよくわかっていない。特に熱変成を著しく受けたコンドライト中の Q ガスについてはあまり調べられていない。そこで本研究では、熱変成を受けた LL4 コンドライト(Hamlet 隕石)と熱変成を受けていない CM2 コンドライト(Murchison 隕石)の化学残渣と、それらと元素組成が似ている半無煙炭の希ガス同位体比を明らかにし、比較を行った。

右に Xe の同位体比のプロットを示した。結果、熱変成を受けている Hamlet 隕石の化学残渣に含まれる希ガスの方が、Murchison 隕石より Q ガス成分に富み、phase Q は熱変成に強いことが示唆された。また、Hamlet 隕石の化学残渣の Ne の同位体比には ^{22}Ne に富む成分(Ne-E)も確認された。一方、半無煙炭からは、希ガスが殆ど検出されず、Q ガスの取り込みが地球外でのプロセスに固有であることが示唆された。

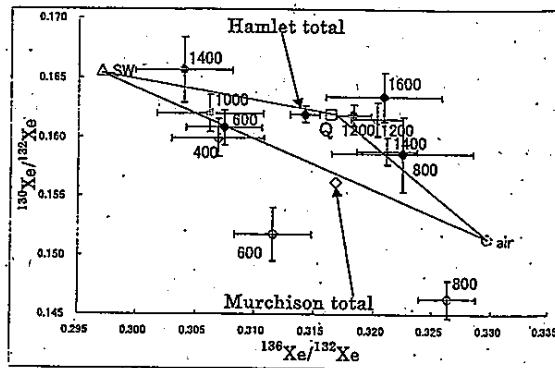


Fig. three isotope plot of Xe for Hamlet and Murchison

火成起源鉄隕石中の Schreibersite 包有物から 検出された始源的希ガス成分

白石智一 松田研究室 (宇宙地球科学専攻)

鉄隕石はその形成過程において、火成作用を経験していない非火成起源グループと、経験した火成起源グループに分類される。火成起源の鉄隕石はその形成時に溶融過程を経験することから Q 成分や HL 成分といった原始太陽系星雲中の始源的なガスを保持していないと考えられてきた。しかし、Nishimura *et al.* (2008)により、火成起源の鉄隕石の中にもわずかながら始源的なガスを含んでいる可能性が示唆された(Fig.)。本研究では火成起源鉄隕石に始源的な希ガスが包有されているかどうかを確認する目的で、5 種の鉄隕石の希ガス同位体比分析を行った。その結果、HL 成分に加えて Q 成分の寄与が明らかになった(Fig.)。本結果から、HL 成分の担体であるプレソーラーダイヤモンドが、試料の母天体のコア中で火成作用で失われることなく残り、Schreibersite が結晶核に捕獲された可能性が考えられる。しかし、同結果について、宇宙線照射起源成分と自発核分裂起源成分との混合でも説明が出来得る。

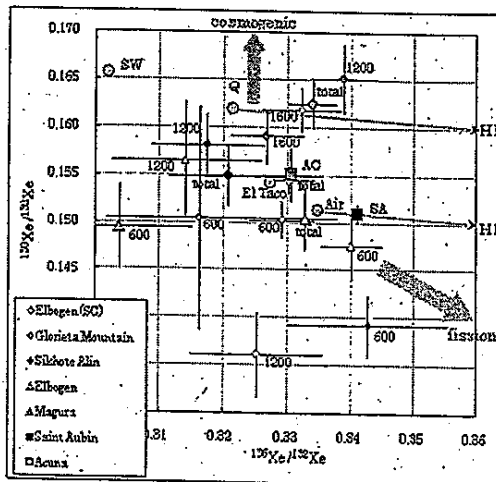


Fig. Xenon isotopic ratio of iron meteorites

準球対称モデルにおける ダークマターハローの形成メカニズム

古布諭 宇宙進化グループ (宇宙地球科学専攻)

銀河や銀河団などの構造は、ダークマター(以下 DM)が作った重力ポテンシャルにバリオンが引き込まれ、重力崩壊することによって形成される。本研究は、その DM が形成するハローの本質を理解することを目的とする。

ダークマターハローに関する研究例として、Navarro, Frenk & White は、シミュレーションから多くの宇宙論的初期条件において普遍的な密度分布があることを示したが、その起源については現在もまだ十分には明らかでない。

本研究では、その普遍的な密度分布の起源についてできるだけシンプルなモデルによる理解を目指す。先行研究では、球対称重力ポテンシャルで DM 粒子の運動が動径方向のみの場合の密度分布を解析的に求めたが、普遍的な密度分布を説明するモデルにはなりえなかった。この結果から、非動径方向の運動が普遍的な密度分布の起源に関係していると考え、我々は重力を四重極成分まで含め、かつ非動径方向の運動も考慮に入れた準球対称モデルを構築した。そのモデルを用いて様々な初期条件のもとでシミュレーションを行った結果、ハロー形成後の内側の密度分布は、ある初期条件下で普遍的な密度分布に非常に近い結果が得られた。また速度分布や速度分散等に関しては、普遍的な密度分布の場合と非常に似ている傾向を示した。以上の結果から我々は、重力を四重極成分までしか含めないというシンプルなモデルでも、普遍的な密度分布の場合と近い結果を得られることを確認した。

原始惑星系円盤内におけるダスト層形成の安定性について

菅原 功 宇宙進化グループ (宇宙地球科学専攻)

初期の原始惑星系円盤内に含まれる Dust は、重力の影響で赤道面に沈殿する。ある薄さになると、自己重力不安定が起り、赤道面では、短いタイムスケールで数 km サイズの微惑星が形成され、その後、それらが惑星に成長すると考えられている。

しかし、沈殿によって出来るダスト層の密度勾配のため、原始惑星系円盤内の Gas は、回転方向の速度に、赤道面から上空にかけて Shear 流が発生しており、Kelvin-Helmholtz 不安定 (以下 KH 不安定) が起こる可能性があることが分かっている。そうすると、沈殿してきたダストは巻き上げられてしまい、Dust 層が自己重力不安定を起こすことは難しくなる。この問題に取り組んだ、先行研究 (Sekiya 1998) では、単一サイズのダストを仮定し、全領域で KH 不安定に対して臨界平衡状態にあるとして、ダストの密度分布を解いたところ、初期ダストが Hayashi モデルの約 20 倍以上存在していれば、自己重力不安定を起こすことが出来るという結果が示されていた。

しかし、本当にこの臨界平衡状態に至るかどうかは自明ではないため、本研究では、その条件を課さず、原始惑星系円盤内での、沈殿の時間発展を追うことにした。その際に、まず、ダストが、全て同じ大きさであるとして、KH 不安定を一度も起こさず重力不安定に達する条件を求めると、Hayashi モデルの 600 倍以上のダスト量が、存在しないと示された。次に、原始惑星系円盤内の Dust のサイズについて、連続的な分布を持っているとして、沈殿の時間発展を追うと、条件が緩くなり、50 倍程度の初期ダスト量でも重力不安定を起こせる場合があることが示された。

これは、今回の研究により、Dust のサイズ分布を考慮することが、惑星形成を考える際に重要な要素であることを示唆しており、今後重要な課題となるかもしれない。

パルサー星雲のスペクトル進化

田中周太 宇宙進化グループ (宇宙地球科学専攻)

我々の銀河系には、かに星雲に代表されるパルサー星雲という天体が存在する。このパルサー星雲の中心には、高速で回転する中性子星であるパルサーが存在し、そのパルサーの回転エネルギーが、磁場や相対論的電子、陽電子プラズマのエネルギーに変換されることで、シンクロトロン放射、逆コンプトン散乱などの機構で輝いていると考えられている。

パルサー星雲を形成するパルサーは、重力が非常に強く、超強磁場を持ち、高速で回転する活動的な天体である。このパルサーの回転が減速していることから、回転エネルギーを何らかの機構で、磁場と相対論粒子のエネルギーに分配していると思われるが、その機構は明らかではない。

磁場と相対論的粒子にどの程度の比で、回転エネルギーを分配するかなどのパラメータを、どのように与えれば現在観測されるパルサー星雲が、再現できるかを調べることで、パルサーの性質に制限を与えることが可能と考えられる。

本研究では、数値的手法により、パルサー星雲形成期からの磁場、相対論的粒子の進化を追い、パルサー星雲のスペクトル進化を計算するコードを開発した。さらに、この計算コードで、かに星雲の現在のスペクトルを再現し、もっともらしい計算コードであることを確かめた。この計算コードを用いて、一般のパルサー星雲のスペクトルと年齢の関係や、近年発展してきた高エネルギーガンマ線観測で発見された、TeVガンマ線未同定天体に関する議論が可能である。

磁場を考慮した相対論的アウトフロー

吉田訓士 宇宙進化グループ (宇宙地球科学専攻)

宇宙では様々な現象が起こっているが、その一つに宇宙ジェットがある。これは、小さな領域から双方向に流れ出ている、細く絞られたプラズマガスの流れで、原始星ジェットや系内ジェット、活動銀河ジェットなど、様々なスケールのものであり、活動銀河ジェットでは bulk motion のローレンツ因子 Γ が 10 を優位に超えるものもある。この加速・形成機構はまだ解明されておらず、そのモデルには、磁気力加速や放射圧加速など様々なものが提唱されている。

本研究では、加速機構について注目し、特に、磁場を考慮したモデルに着目する。恒星風などに適用される、定常・軸対称の MHDflow を取り扱う Weber-Davis モデルを参考に、流体の bulk motion が相対論的な速度になる場合でも取り扱えるように方程式系を拡張し、その解を解析的に求めた。そのうち、いくつかのパラメータに対する解について、その物理的状況や、加速の度合いなどを考察する。

スターダスト衝突トラックの3次元構造と 彗星塵の構造の復元

飯田洋祐 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

NASAのスターダスト計画により、人類は初めて彗星の塵を手にした。スターダストは、6.1km/secという超高速での彗星塵捕獲計画である。エアロジェルと呼ばれる極低密度のSiO₂ガラスが捕獲材として使用された。しかし彗星塵は、さまざまな損傷を受けて捕獲されていた。その損傷の程度の違いや彗星塵の構造の違いを最も反映しているのが、突入プロセスの記録として残っているエアロジェル中に形成されたさまざまなサイズ・形状をした衝突痕(通称トラック)である。従って捕獲された彗星塵の復元には、このトラックに注目し、捕獲プロセスを理解する事が重要である。

そこで本研究では、計10のスターダスト衝突トラックの3次元構造をSPring-8において放射光を線源としたCT法により定量的に求めた。またCT法と同時にトラックの蛍光X線(XRF)分析を行い、Feなどのトラックに含まれる元素とその分布を求めた。これらの情報を基にして、さまざまな損傷を受けて捕獲された彗星塵のオリジナルの構造(粒子径・密度・Feの含有程度・揮発性成分の含有程度など)を推定した。例えば彗星塵の密度は、「彗星塵の持つ運動エネルギーと、形成されたトラックの体積の比例関係」の仮定を基に推定することができる。こうして得られた彗星塵の密度分布(平均密度:1.09g/cm³)は、太陽系始原物質の進化過程を解明する上で大きな手がかりになると考えられる。

含水玄武岩質ガラスの加熱・脱水発泡過程における微細 空隙ネットワークの発生機構と発生条件についての研究

幾世宏志 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

火山の噴火が爆発的になるか非爆発的になるかを考える際、火道内のマグマからの揮発性成分の脱ガスは重要な現象である。脱ガスモデルとしては、マグマ中で発泡した気泡が連結し、その連結部を通じて揮発性成分が火口や火道壁へ逃げるといった浸透流脱ガスなどが提案されている(例えば Eichelberger et al. 1986)。本研究では、合成した含水玄武岩質ガラス(含水量:0.69~1.69 wt%)について加熱発泡実験(加熱温度:500~900℃)を行った。これにより、従来からよく知られていた気泡の発生以外にも、微細な空隙のネットワークが形成されるという特異な現象が確認された。サブミクロン径の空隙の発生は、大きな気泡(直径~1mm)の発生よりも遅れて起こっていた。複数の実験から、微細な空隙が発生し得るのは1.14 wt%程度以上の含水量を持つ試料で、かつ限られた温度範囲においてであることがわかった。また、その温度範囲は含水量が高いほど広がる傾向があった。微細な空隙の発生機構を以下のように考えた:(1)気泡の発生と同時にガラス部分では結晶化(磁鉄鉱と輝石)が開始する、(2)これらの微小結晶(~300 nm)が密に生成することにより、ガラス部分の含水量が上昇する、(3)試料外側のガラス部分から微細な空隙が形成し始める、(4)試料表面からの脱水と同時に微細な空隙が試料全体を覆う。現在のところ、天然の岩石において微細な空隙が観察された事例は確認できていないが、本実験の条件と類似の環境においては微細な空隙が発生し脱ガス経路となっている可能性がある。

星周塵の赤外吸収スペクトルにおける結晶格子歪み及び 粒子形状・凝集の効果

今井悠太 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

赤外天文観測と室内分光実験の比較によりダストの性質が推定され、晩期星や若い星の星周領域においてフォルステライト(Fo)をはじめとする結晶質シリケートの存在が確認されている。赤外線吸収スペクトルは、これらの鉱物の化学組成・温度だけでなく、結晶格子歪みや粒子の形状・凝集状態などの影響を受ける。ダストの形成・進化過程における物理・化学条件を詳細に推定するためには、化学組成や温度だけでなく、形状・凝集の依存性に着目した分光実験による測定データが必要である。これまでに結晶格子歪みや粒子形状・凝集がスペクトルに及ぼす影響は実験的にはあまり詳しく解明されていない。

そこで、本研究では結晶格子歪みや粒子形状・凝集の程度の異なる Fo 微粒子を作成し赤外吸収における形状・凝集の影響について実験的に調べた。試料の形状・凝集状態は電界放出型走査電子顕微鏡 (FE-SEM) を用いて観察し、結晶性は粉末 X 線回折 (XRD) を用いて評価した。また、赤外吸収スペクトルをフーリエ変換型赤外分光計 (FT-IR) により測定した。その結果、結晶格子歪みはスペクトルのブロードニングに影響を及ぼすことがわかった。また、粒子の形状・凝集状態に応じて、赤外吸収スペクトルのピーク位置・強度・半値幅が変化することがわかった。これらの結果と光学定数を用いたモデル計算の結果とを比較することで、赤外吸収における形状・凝集の効果について考察し、観測のスペクトルと対応させて議論した。

本発表では、主に赤外吸収に関する粒子形状・凝集の効果について述べる。

クレメンタイン UV-VIS 画像を用いた 月面の高地の表側と裏側の光散乱特性の違いの検出

川邊聖司 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

月探査衛星から観測される月の反射光強度は太陽・月・観測器の位置関係に応じて変化する。クレメンタイン UV-VIS 画像 (415 nm、750 nm、900 nm、950 nm、1000 nm) は反射率を異なる場所間で比較するために入射角 30° 、観測角 0° 、位相角 30° 相当に補正されている。このような異なった幾何学系で観測されたデータを補正する関数は測光補正関数と呼ばれている。一般に光反射特性は月表面の化学的、物理的性質に依存すると考えられる。よって測光補正関数も月面の地域ごとに指定しなければならない。しかしながら今まで月面の表面状態まで考慮に入れた精密な測光補正関数は明らかにされていなかった。

本研究では月面の高地を表側と裏側に分割し、クレメンタイン UV-VIS 画像からそれぞれの地域の平均的な光散乱特性の抽出をおこなった。その結果、今まで比較的岩相が均一だと考えられていた月面の高地において、表側の高地と裏側の高地での光散乱特性の違いを検出することに成功した。さらにリモートセンシングデータと地上観測データを比較することにより、月面の光散乱特性マップを作成し、表側の高地および裏側の高地の典型的な光散乱特性を持つ地域を特定した。また得られた光散乱特性と粉体における光散乱モデルとを比較したところ、表側の高地と裏側の高地では表面状態の圧密度が異なる可能性があることが示唆された。

Hydrothermal alteration experiments of amorphous silicates with CI chondritic composition

野口 遼 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

炭素質コンドライトは最も始原的な隕石であり、太陽系初期の情報を記録している。中でも CI, CM, CR, TL などのコンドライトは水質変成作用を受けており、その水質変成過程は太陽系始原物質の進化を考える上で重要である。過去に結晶質のケイ酸塩や隕石を用いた水熱実験が行われ、隕石の水質変成過程について考察されてきた(例えば Ohnishi and Tomeoka, 2007)。一方で、赤外線天文観測によると星間空間のケイ酸塩ダストは非晶質であり、また始原的な隕石中に水質変成を免れた非晶質ケイ酸塩が存在する例があることから、結晶質だけでなく非晶質ケイ酸塩の水質変成過程も考える必要がある。しかし非晶質ケイ酸塩を用いた系統的な水質変成実験は行われていない。

そこで本研究では CI コンドライト組成の非晶質ケイ酸塩を作成し、その水質変成実験を温度、時間、化学組成、結晶化度、溶液の条件を変化させて行った。実験生成物は粉末 X 線回折、電界放出型走査型電子顕微鏡観察、赤外分光を用いて分析した。分析の結果、CI コンドライト組成の非晶質ケイ酸塩から calcite や magnetite、層状ケイ酸塩である saponite や serpentine など、コンドライト中にも見られる鉱物が生成することが分かった。また、serpentine は saponite と olivine の反応で生成する事も分かった。反応が進んだ場合に得られる鉱物組み合わせが CM コンドライトのマトリックスに似ていることから、変成前の CM コンドライトは非晶質ケイ酸塩を含んでいた可能性がある。

微小地球外試料の3次元構造と微小圧縮試験機による強度測定

増尾 悦子 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

本研究では、微小圧縮試験機による炭素質隕石と宇宙塵の強度測定、彗星塵粒子の超高分解能 CT 像と FE-SEM 像の比較、ドームふじ周辺における南極微隕石の3次元構造と FE-SEM 観察を行った。発表では、微小圧縮試験機による炭素質隕石と宇宙塵の強度測定について述べる。

太陽系の始原的天体を構成する物質の力学的性質は、太陽系形成初期の微惑星の形成における初期条件や、サンプルリターン計画におけるサンプリング装置の開発などにとって極めて重要な情報である。これまで宇宙由来の物質をサンプルとした直接的な強度測定は、極少数の隕石サンプルに限られている(例えば、三浦ら, 2008)。これは、始原的な炭素質隕石では、一般的に大変脆く測定に相応しい形状に加工することが困難であることに加えて、貴重であるため従来の強度測定に必要な量のサンプルを確保することが難しいことに起因している。また、地球に落下してくる 1mm 以下の宇宙塵については、測定例そのものがない。

そこで本研究では、微小圧縮試験機を用いて 100 μm 程度の大きさの非整形の粒子の引張強度を求めた。サンプルは、炭素質隕石 (CM・CI・TL) 小片および南極の雪から採集された微隕石および、強度が既知の試料 (ガラス焼結体など) である。また、サンプルの形状や内部構造が求める引張強度に影響を及ぼすことに着目し、一部のサンプルについては CT 撮影を行い、圧縮試験前のサンプルの内部構造について調べた。隕石微小片の引張強度は 0. 数~数 10MPa 程度のオーダーで、サンプルにもよるが 1桁あるいはそれ以上の範囲で変動した。強度とサンプルの形状には顕著な相関はなく、サンプル個々の強度のちがいは、隕石の不均質性に起因していることがわかった。

南極氷床中塩微粒子の非破壊検出を旨とした 低温 TL 装置の開発と各種塩の低温 TL 特性評価

水野準一 土山研究室 (宇宙地球科学専攻)

南極氷床中に含まれる不純物のうち、 SO_4^{2-} や Ca^{2+} などの化学不純物は、近年になって液体ではなく $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ や $\text{MgSO}_4 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ などの固体塩微粒子として存在していることが確認された(Ohno et al. 2005)。Ohnoらは顕微ラマンによって塩微粒子を検出したが、この計測手法は測定範囲が非常に狭く、3000m以上に及ぶ南極氷床の全コア解析には非常に時間がかかる。そこで私は、より簡便に氷床中の塩微粒子を検出するために低温熱ルミネッセンス(TL)計測による塩微粒子の検出を試みてきた。氷点以下での低温 TL を測定できる光電子増倍管(PMT)を用いた装置を開発し、硫酸塩は青～紫外、硝酸塩は緑～赤の TL 特性を持つ傾向が示された(Mizuno et al. 2007)。

氷床の塩微粒子検出を行うためには TL 特性から塩成分の判別を行う必要がある。本研究では波長間の強度比が詳細に測定できる分光器を用いた低温 TL 装置を開発し、南極氷床中に存在すると思われる塩の強度-温度-波長の3次元低温 TL スペクトルを得ることを目的とした。30種類以上の塩を計測したところ、多くの塩は500nm以下で最大の TL ピークを持つことがわかった。塩化物、炭酸塩、硫酸塩では490nm前後の波長にピークを持つ塩が見られ、また塩化物の一部では700nmにも TL ピークが見られた。酸、硝酸塩はそのほとんどが検出感度以下であった。よって、TL 強度が大きく、氷床中に存在するような微量でも検出できる可能性があるのは $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 K_2SO_4 、 NH_4Cl 、 K_2CO_3 、 CaCO_3 、 $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ の6種類であることがわかった。

X線ガンマ線偏光観測小型衛星 PolariS 搭載用 散乱型偏光計のデザイン検討

太田征宏 常深研究室 (宇宙地球科学専攻)

天体からのX線放射の偏光測定は、X線天文学に残された未開拓の分野である。我々は、気球搭載検出器によるかに星雲の偏光観測と平行して、X線偏光観測に特化した小型衛星PolariS(Polarimetry Satellite)の計画をすすめている。PolariSは硬X線反射望遠鏡の焦点面に2種類の偏光検出器を搭載して、かに星雲の1/100以上の明るさのX線天体に関するワイドバンド(4-80keV)のX線偏光測定をめざす。

偏光検出器のうち10-80keVの範囲をカバーするのが、コンプトン散乱の異方性を動作原理とする散乱イメージング偏光計である。これは、プラスチックシンチレータ柱、CsI(あるいはBGO)シンチレータ、位置検出型光電子増倍管を組み合わせるX線散乱位置と散乱方向を測定する。

本研究では、GEANT4を利用して偏光計のデザイン最適化、バックグラウンドの評価、期待される感度に関して調べた。また、気球搭載用偏光検出器の実験結果とシミュレーションの比較、小型衛星搭載用偏光計用の光電子増倍管の基礎実験についても報告する。

X線天文衛星すざくを用いた Cygnus Loop 北東端から南西端の観測

木村公 常深研究室 (宇宙地球科学専攻)

Cygnus Loop は、爆発後 10000 年ほど経つ超新星残骸で、X 線で大変明るく、視直径で 3° のほぼ円形に広がっている。過去の観測により、Cygnus Loop の北東端からの X 線放射は星間物質起源で、一方、中心付近では Si, S からの強い K 殻輝線が観測され、爆発噴出物の痕跡が残っていることが判っている。

今回 X 線天文衛星すざくで観測された、Cygnus Loop の北東端から南西端までをカバーした合計 10 点のデータを解析した。視野全体を細かな領域に区切り、各領域からスペクトルを抽出し、2 成分の電離非平衡モデルでスペクトルフィットした。その結果、Cygnus Loop の端以外の場所では、スペクトルを再現でき、二成分間の温度の違いもはっきりとでた。高温成分と低温成分の動径方向のフラックス分布を比べた所、低温成分では Cygnus Loop の端にいくにつれフラックスが高くなる、Shell-Brightening が見えたため、低温成分が星間物質起源で、高温成分が爆発噴出物起源であると解釈した。

爆発噴出物成分の O, Ne, Mg, Si, Fe の分布図を作成した結果、これらの重元素は超新星残骸の中心に対して非対称に分布しており、O, Ne, Mg は北東側に多く、Si, Fe は南西側に多いことが判った。Si, Fe が多い領域では、星間物質成分の強度が弱くなっていたため、星間物質のシェルが視線方向に破れていると解釈した。

マイクロフォーカス X 線源と大面積 X 線 CCD を用いた 光子計数モードでの屈折コントラスト拡大撮像

文原 篤史 常深研究室 (宇宙地球科学専攻)

X 線の光電吸収を利用した従来型の撮像方式では、生体軟組織など X 線を透過しやすい物質を鮮明に撮像することが困難である。これに対して屈折コントラスト (位相コントラスト) 撮像法は、被写体を透過する X 線の位相のわずかなずれを利用し像の輪郭を強調するため、光電吸収率の低い物質についてもコントラストの高い画像を取得することが可能である。我々は光源にマイクロフォーカス X 線源を用いて、この方式による新しい拡大撮像システムを構築した。マイクロフォーカス X 線源は直径 $3\mu\text{m}$ の微小焦点から最大 100keV の X 線を発生させることが可能である。また検出器には 2013 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 Astro-H 搭載用に開発中の X 線 CCD を用いた。

更に我々は X 線天文学で使用されているデータ処理技術を用いて、空間分解能の向上を目指した。X 線天文学では X 線イベントの強度分布から個々の X 線の入射位置やエネルギーを特定している。その技術を本研究に応用するためには、個々の光子を分離する必要がある。そこで我々は光子計数モードでの撮像を行った。さらにデータ処理前と処理後で空間分解能の評価を行い、空間分解能の向上を実現した。

上記の解析方法では光子の入射位置を CCD の画素サイズの精度でしか求めることができない。そこで画素サイズ以上の精度で光子の入射位置を求めることができる新たな技術を用いてデータ解析を行った。その結果、画素サイズ以下の空間分解能を達成した。

水素化アモルファスシリコン上に積層した 有機薄膜の光吸収特性の比較

古家景悟 辻内研究室

(秋田大学大学院工学資源学研究科材料工学専攻)

有機分子を用いた機能性薄膜の設計は分子デバイスや分子エレクトロニクス材料を開発する有効な方法の一つである。これまで、 SiO_2 結晶板、アモルファスガラス基板、水素化アモルファス(a-Si:H)基板上で有機色素であるレチノイン酸の薄膜を形成して光吸収特性を研究した成果と脂肪酸薄膜上に脂質薄膜を積層するパターンニング技術の研究の成果を背景として本研究は取り組まれた。

特にこれまで作製されていなかった、a-Si:H 薄膜の上にステアリン酸膜を形成後、リン脂質(PC)分子(本実験では、DMPC を使用)と膜タンパク質であるバクテリオロドプシン(bR)の複合薄膜(bR+DMPC)を作製した場合について、複合化する薄膜の層数と膜の紫外～可視～赤外領域における光吸収の特性がどのように変化するかについて、実験的に詳細に検討された。

その結果、a-Si:H 薄膜製造方法である電子サイクロトロン共鳴(ECR)プラズマスパッタ法における水素濃度依存性および、膜厚依存性のあるフーリエ変換赤外分光全反射吸収スペクトル(FTIR-RAS)ほかによる総数依存性特性が観測され、生体分子を緻密に薄膜化するとともに、その精巧な特性の積層化膜中での物性発現の可能性を示唆するものであった。

高解像の全天減光マップの作成

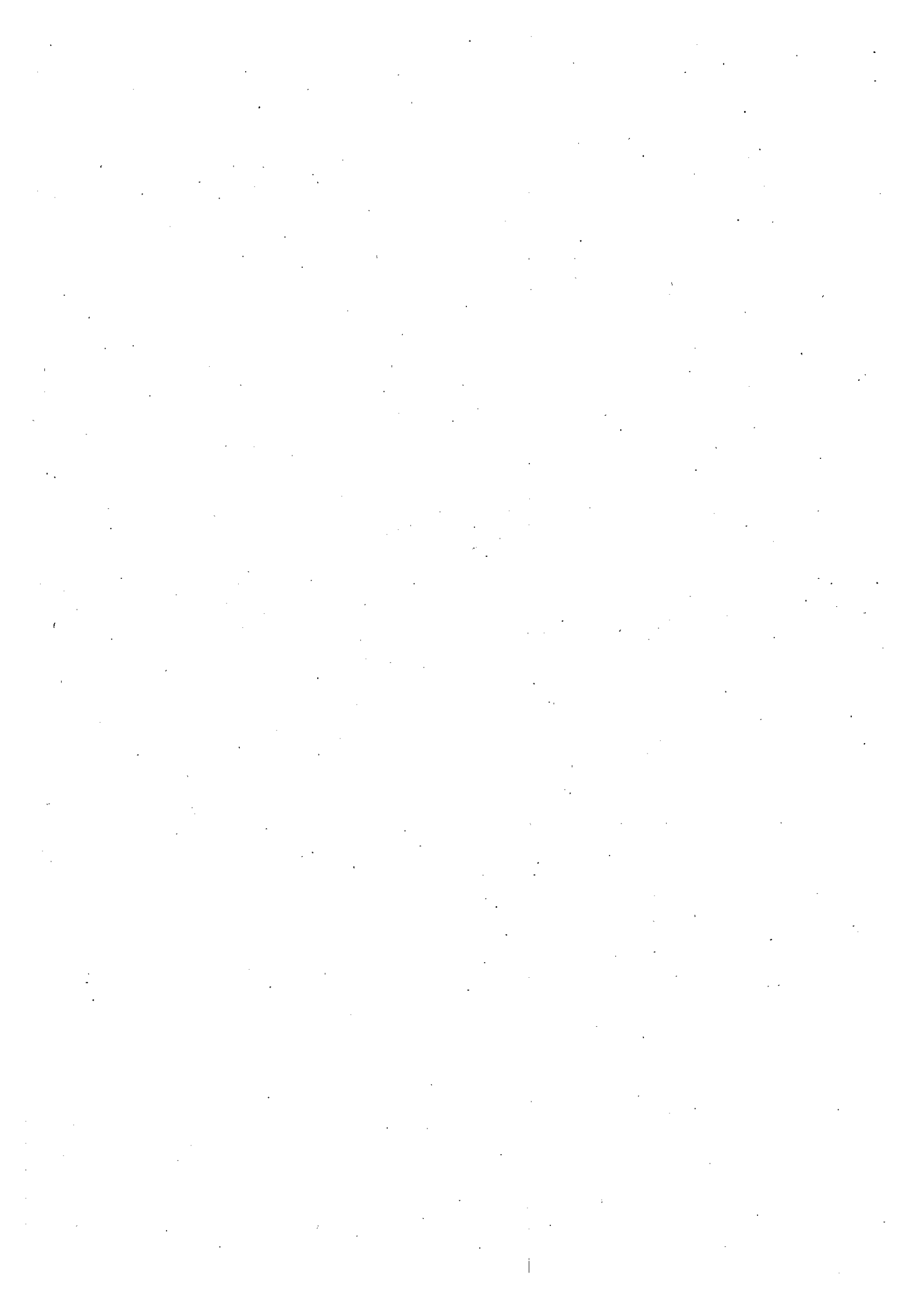
幸山常仁 宇宙物理学研究室 (名大理、素粒子宇宙物理学専攻)

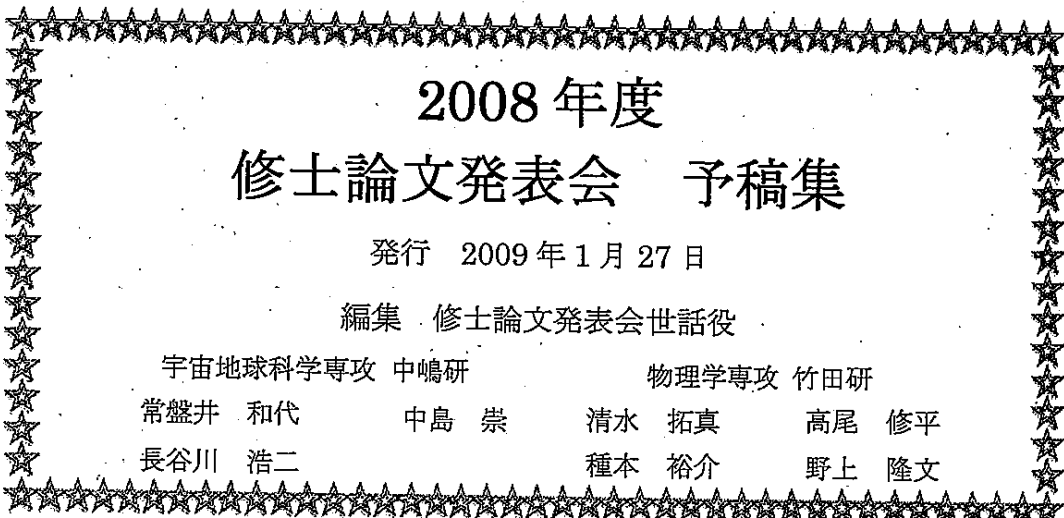
銀河系内の星間ダストは、可視光バンド等における銀河系外天体の大きな減光要因の一つである。したがって、どの位置の銀河系外天体に対しても減光量を正確に補正できるような全天減光マップが必要となる。

ダストの減光量(すなわちダストの光学的厚さ)の評価には、ダストの温度の導出が必要である。ダスト温度は熱放射のスペクトル形状から求めるため、温度の算出には2波長以上の観測データが必要となる。さらに、ダストが輻射平衡となっている100 μm より長い波長での観測データが必要となる。実際 Schlegel et al. (1998, 以下 SFD98)では、ダスト温度を COBE/DIRBE の波長 100, 240 μm の全天データから導出し、全天ダスト減光マップを作成した。このマップは現在の標準マップとして利用されている。ところが COBE の空間分解能は $42'$ であり、一方で星間ダストは $42'$ 以下の小さい空間構造をもつことが知られているので、SFD98 にはその空間分解能が十分でないという問題がある。

そこで私は、全天減光マップの分解能向上を目指し、銀河系ダストの波長 60, 100, 140 μm の放射強度に強い相関があること(Hibi et al. 2006)を利用して、IRAS の波長 60 μm と 100 μm のマップから IRAS の空間分解能 $5'$ で波長 140 μm の放射強度マップを作成し、100 μm マップと合わせて従来より一桁高い分解能で全天減光マップを作成しようと考えている。その試金石として、黄道光が弱い Cygnus 領域(80 平方度)の A_V マップを作成し、高分解能の $E(B-V)$ マップを作成した。

※判定会議は2月10日16:00よりH701で開催されます





2008年度
修士論文発表会 予稿集

発行 2009年1月27日

編集 修士論文発表会世話役

宇宙地球科学専攻 中嶋研

物理学専攻 竹田研

常盤井 和代

中島 崇

清水 拓真

高尾 修平

長谷川 浩二

種本 裕介

野上 隆文